

Оригинальная статья / Original article

УДК 624.131.1(571.5)

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2019-42-2-230-239>

Использование метода «Микроструктура» при инженерно-геологической оценке глинистых и лессовых грунтов (на примере изысканий в районе правобережного примыкания Академического моста г. Иркутска)

© Ю.В. Вашестюк^а, Т.Г. Рященко^б

^{а,б}Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия

^бИнститут земной коры СО РАН, г. Иркутск, Россия

Резюме: Цель исследований заключалась в использовании нового метода при изучении микроструктуры глинистых и лессовых грунтов, вскрытых скважинами на участке правобережного примыкания Академического моста (г. Иркутск). При инженерно-геологических изысканиях этот блок информации обычно отсутствует, но часто является одним из ведущих факторов при оценке свойств грунтов. Одновременно с изучением микроструктуры грунтов участка данные по величине их пластичности были использованы для применения прогнозных расчетов числа пластичности по пределу текучести с целью дополнительного обоснования предложенного метода. По методу «Микроструктура» определено общее содержание агрегатов, в том числе преобладающих мелко-тонкопесчаных, первичных (свободных) мелко-тонкопесчаных, крупнопылеватых и мелкопылеватых частиц и установлена реальная глинистость (содержание глинистой фракции в свободном состоянии и составе агрегатов). При статистической обработке данных рассчитаны средние значения содержаний указанных параметров и оценен характер их изменчивости (по величине коэффициента вариации) в исследованной группе объектов. По общему содержанию агрегатов установлен скелетно-агрегированный тип микроструктуры грунтов; выявлено высокое реальное содержание глинистой фракции. По средним значениям содержания выбранных параметров построен специальный график, который отражает их соотношения в исследованных объектах. Выполненные расчеты числа пластичности по прогнозным формулам и их сопоставление с экспериментальными данными подтвердили высокую степень совпадения по наименованию грунта согласно стандартной классификации.

Ключевые слова: метод «Микроструктура», глинистые грунты, лессовые грунты, число пластичности, кластерный анализ

Информация о статье: Дата поступления 5 марта 2019 г.; дата принятия к печати 28 мая 2019 г.; дата онлайн-размещения 27 июня 2019 г.

Для цитирования: Вашестюк Ю.В., Рященко Т.Г. Использование метода «Микроструктура» при инженерно-геологической оценке глинистых и лессовых грунтов (на примере изысканий в районе правобережного примыкания Академического моста г. Иркутска). *Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых*. 2019. Т. 42. № 2. С. 230–239. DOI: 10.21285/2541-9455-2019-42-2-230-239.

“Microstructure” method for engineering-geological evaluation of clay and loess soils (the right-bank adjunction zone of Academic Bridge / Academichesky most, Irkutsk)

© Yulia V. Vashestyuk^а, Tamara G. Ryashchenko^б

^{а,б}Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia

^бInstitute of the Earth's Crust, SB RAS, Irkutsk, Russia

Abstract: The aim of the work has been to introduce a new method in the soil microstructure study for the clay and loess soils uncovered by well-drilling in the right-bank junction zone of Academic Bridge / Academichesky most, Irkutsk. The microstructure information block is usually unavailable in engineering-geological survey, though it is

often one of the leading factors in evaluating the soil properties. Along with the study of the soil microstructure, the data on the soil plasticity has been used in the predictive calculations of the plasticity number at the yield point, in order to further substantiate the proposed method. Using the "Microstructure" method, the total aggregate content has been defined, including the prevailing fine fine-sandy, primary (unbound) fine-sandy, primary coarse-dust, and fine-dust particles; real clay content (clay fraction content in a free and aggregate state) has also been defined. In the course of the statistical data processing, the average values of the above parameters contents have been calculated, and their variability in the studied object group has been estimated using the variation coefficient. The soil skeleton-aggregated microstructure type defined by the total aggregate content shows a high real content of the clay fraction. Based on the average values of the selected parameters content, a special graph has been plotted, that reflects the parameters ratio for the studied objects. The comparison between the plasticity number values calculated by the predictive formulas and the experimental data shows a high matching degree in relation to the soil designation by the standard classification.

Keywords: "Microstructure" method, clay soils, loess soils, plasticity number, cluster analysis

Information about the article: Received March 5, 2019; accepted for publication May 28, 2019; available online June 27, 2019.

For citation: Vashestyuk Yu.V., Ryashchenko T.G. "Microstructure" method for engineering-geological evaluation of clay and loess soils (the right-bank adjunction zone of Academic Bridge / Academichesky most, Irkutsk). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya seksii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh = Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits*, 2019, vol. 42, no. 2, pp. 230–239. (In Russ.) DOI: 10.21285/2541-9455-2019-42-2-230-239.

Введение

Изучение микроструктуры дисперсных грунтов представляет собой специальный блок информации, который является одним из ведущих факторов при оценке свойств грунтов. Например, при комплексных исследованиях набухания, пластичности, гранулометрического и минерального состава, физико-химической активности и микроструктуры глинистых грунтов в районе южного Китая было установлено, что величина набухания определяется составом глинистых минералов и микроструктурными признаками, а пластичность зависит не только от содержания глинистой фракции, но и от количества агрегатов [1]. Выявлено влияние микроструктурных признаков лессов свиты малань (vQ_{3-4}) на просадочность, которая изучалась в пределах строительных площадок в районе Северного лессового плато Китая [2, 3]. Для оценки степени агрегированности глинистых грунтов предложен дисперсионный коэффициент, расчет которого проводится на основе данных гранулометрического анализа, выполненного при различных способах подготовки образца [4]. Среди современных методов микроструктурных

исследований глинистых и лессовых грунтов ведущее место занимает растровая электронная микроскопия.

В процессе изучения лессовых и глинистых грунтов в Монголо-Сибирском регионе (юг Восточной Сибири и Западная Монголия) в лаборатории инженерной геологии и геоэкологии Института земной коры СО РАН был разработан новый метод «Микроструктура», который широко применяется в регионе при инженерно-геологической оценке грунтовых толщ строительных площадок или в пределах ключевых участков [5]. В статье представлены результаты использования данного метода на участке правобережного примыкания Академического моста (г. Иркутск).

Объекты исследований

Определения микроструктуры и прогнозные расчеты числа пластичности выполнялись для 22 образцов-монолитов лессовых грунтов, отобранных из восьми скважин глубиной 20 м, пробуренных на участке изысканий, который располагался в пределах третьей террасы Ангары. Грунтовые толщи представлены следующими геолого-генетическими комплексами: поздневерхнечетвертичный

делювиальный – верхний (dQ_3^3) и нижний (dQ_3^2) лессовые циклиты; верхнечетвертичный аллювиальный (aQ_3), представленный лессовидными суглинками пойменной фации и песчано-галечными отложениями русловой фации.

Метод «Микроструктура»

Основой метода «Микроструктура» являются результаты гранулометрического анализа грунта, который выполняется пипеточным методом с тремя способами подготовки образца [6]. Далее проводятся специальные расчеты для определения различных микроструктурных параметров, условные индексы которых и их расшифровка представлены в табл. 1 [7, с. 75].

Особенность метода заключается в том, что коэффициенты микроагрегатности (разность содержаний фракций, полученных при дисперсной и агрегатной подготовке) рассчитываются для всех шести фракций (1,00–0,25; 0,25–0,05; 0,05–0,01; 0,010–0,002; 0,002–0,001; < 0,001 мм). Далее ведутся специальные расчеты для получения 28 параметров микроструктуры грунта [8, 9].

Апробация этого метода на примере лессовых грунтов, распространенных на указанной выше площадке изысканий, позволяет увеличивать банк информации об особенностях их микростроения. При сопоставлении полученных методом «Микроструктура»

Таблица 1

Параметры микроструктуры лессовых и глинистых грунтов
(метод «Микроструктура»)

Table 1

Microstructure parameters for loess and clay soils
(«Microstructure» method)

Индекс	Параметр	Индекс	Параметр
A	Общее количество агрегатов	M^{5-A}	Частицы в составе агрегатов 0,002–0,001 мм
A1	Агрегаты 1–0,25 мм	M6	Первичные частицы < 0,001 мм
A2	Агрегаты 0,25–0,05 мм	M^{6-A}	Частицы в составе агрегатов < 0,001 мм
A3	Агрегаты 0,05–0,01 мм	M7	Реальное содержание фракции < 0,001 мм
A4	Агрегаты 0,010–0,002 мм	M8	Реальное содержание фракции < 0,002 мм
A5	Агрегаты 0,002–0,001 мм	M9	Содержание фракции < 0,002 мм по стандартной гранулометрии
M1	Первичные (свободные) частицы 1,00–0,25 мм	$K_{гл}$	Коэффициент глинистости M^8 / M^9
M2	Первичные частицы 0,25–0,05 мм	M11	Общее содержание фракции 0,050–0,002 мм по стандартной гранулометрии
M^{2-A}	Частицы в составе агрегатов 0,25–0,05 мм	F1	Коэффициент свободы фракции 1,00–0,25 мм
M3	Первичные частицы 0,05–0,01 мм	F2	Коэффициент свободы фракции 0,25–0,05 мм
M^{3-A}	Частицы в составе агрегатов 0,05–0,01 мм	F3	Коэффициент свободы фракции 0,05–0,01 мм
M4	Первичные частицы 0,010–0,002 мм	F4	Коэффициент свободы фракции 0,010–0,002 мм
M^{4-A}	Частицы в составе агрегатов 0,010–0,002 мм	F5	Коэффициент свободы фракции 0,002–0,001 мм
M5	Первичные частицы 0,002–0,001 мм	F6	Коэффициент свободы фракции < 0,001 мм

результатов с почти «забытым» методом А.К. Ларионова [10] установлено преимущество первого («Микроструктура»): представлены количественные характеристики микроструктурных параметров, на основании которых установлен тип микроструктуры в зависимости от количества агрегатов (по разработанной классификации); определена реальная глинистость исследованных образцов; установлено содержание агрегатов различного размера и первичных (свободных) частиц; на основе статистической обработки данных по некоторым параметрам микроструктуры выявлен характер их изменчивости в исследованной группе лессовых отложений. Метод А.К. Ларионова основан на качественном определении признаков – по степени микротрещиноватости (класс микроструктуры), характеру микроразмокания (подкласс), степени активной пористости по скорости впитывания инертного глицерина; для определения дисперсности необходимы данные гранулометрического анализа.

Одновременно с изучением микроструктуры грунтов участка данные по величине их пластичности были использованы для применения прогнозных расчетов числа пластичности I_p по пределу текучести W_m с целью дополнительного обоснования предложенного метода. Определение числа пластичности и расчеты показателя текучести для глинистых грунтов являются обязательным условием при их инженерно-геологической оценке согласно стандарту^{1,2}.

Результаты исследований и их обсуждение

Апробация метода «Микроструктура» на примере лессовых грунтов, распространенных на указанной выше

площадке изысканий, позволяет увеличить банк информации об особенностях их микростроения. Данные по величине пластичности грунтов были использованы для применения прогнозных расчетов числа пластичности I_p по пределу текучести W_m с целью дополнительного обоснования предложенного метода [11, 12].

Из 28 параметров микроструктуры (см. табл. 1) были выбраны основные: общее количество агрегатов (А) и преобладающие по размеру разновидности (А2), содержание первичных (свободных) тонко-мелкопесчаных (М2), крупнопылеватых (М3) и мелкопылеватых (М4) частиц и реальная глинистость (М8) – общее содержание глинистой (< 0,002 мм) фракции в свободном состоянии и составе агрегатов (табл. 2).

Выполнена статистическая обработка этих данных и получены основные статистические показатели (табл. 3).

По средним значениям содержания микроструктурных параметров представлен график, на котором показано их соотношение в исследованных лессовых грунтах (рисунок).

На основании представленных материалов установлено, что грунты имеют скелетно-агрегированную микроструктуру, тип которой определяется по содержанию агрегатов (А = 30,3 %) в соответствии с разработанной классификацией [5]. Среди агрегатов преобладают тонко-мелкопесчаные разновидности (А2 = 21,4 %). Основная масса первичного (свободного) материала представлена крупнопылевыми частицами (М3 = 36,6 %). Особенностью лессовых грунтов является высокая реальная глинистость – реальное содержание фракции < 0,002 мм в среднем составляет 30,6 %.

¹ ГОСТ 5180-84. Грунты. Методы лабораторного определения физических характеристик. М: Издательство стандартов, 1984. 23 с. / GOST (Russian State Standard) 5180-84. Soils. Laboratory methods for determination of physical characteristics. Moscow: Standards Publ. 23 p.

² ГОСТ 25100-2011. Грунты. Классификация. М.: МНТКС, 2012. 58 с. / GOST (Russian State Standard) 25100-2011. Soils. Classification. Moscow: Intergovernmental Scientific-technical Committee on Standardization, Technical Norming and Conformity Assessment in Construction Publ. 58 p.

Таблица 2

Содержание основных параметров микроструктуры

Table 2

Contents of the main microstructure parameters

Номер образца	Параметр микроструктуры, %					
	A	A2	M2	M3	M4	M8
1	38,8	37,7	3,4	38,4	10	32,6
2	40,9	24	1,2	37,7	13,6	39,5
3	38,5	36,8	8,5	36,3	10,3	30,7
4	28,2	14,7	13,6	27,3	20	38,6
5	39,9	17,9	4,2	32,9	16,2	31,2
6	39,5	19,1	3,7	31,3	18,7	31,4
7	17,6	10,6	18,4	38,1	21,1	21,6
8	17,7	10,9	26,7	34,3	16,5	20,3
9	33,2	26,9	30,9	19,2	8,5	33,7
10	30,6	24,9	12,4	38,6	13,8	25,8
11	36,2	29,2	8,8	34,6	13,8	31
12	22,5	8,1	20	40	11,4	24,6
13	26	8,2	19,7	38,1	11,2	30,8
14	22,5	22,4	7,8	50	10,4	27,5
15	31,7	24,4	2,6	30,7	15,8	39,6
16	37,8	32,3	8,1	34,9	12,7	35,4
17	25,7	21,2	8,5	47,4	12,5	31,7
18	30,9	24,6	11,3	45,9	7,1	28,3
19	17,2	10,7	20,3	40,1	12,5	24,1
20	33,6	32,8	10	41,7	8,4	32,8
21	28,2	11,1	25,8	30,1	11,2	31,5

Характер распределения микроструктурных параметров (определяется по величине коэффициента вариации V , %) различен: относительная однородность отмечена для крупнопылеватых частиц и величины реальной глинистости ($V = 17-19\%$), остальные параметры имеют широкий диапазон изменений в рамках изученной выборки объектов ($V = 26-68\%$) (см. табл. 3).

В заключение раздела по микроструктурным особенностям лессовидных грунтов площадки в качестве примера сопоставления разработанного авторами метода и ранее используемого метода для одного образца приведем «детальный структурный индекс» (метод А.К. Ларионова) и одновременно – количественные сведения, полученные по методу «Микроструктура». Образец с глубины

5,5 м: III, Г/З₁, β (класс – скелетно-агрегированная структура, подкласс – смешанный тип структурных связей / вид – высокая активная пористость, разновидность – высокая дисперсность). Совпадение данных фиксируется по классу (типу) микроструктуры ($A = 26\%$), остальные количественные параметры получены только по методу «Микроструктура».

Данные о пластичности образцов участка использованы для применения прогнозных формул, которые учитывают только предел текучести Wm [13]:

$$lp_1 = 0,75Wm - 11; \quad (1)$$

$$lp_2 = 0,8Wm - 14; \quad (2)$$

$$lp_3 = 0,599Wm - 0,079, \quad (3)$$

где lp_1 – число пластичности, рассчитанное по формуле (1); Wm – предел текучести; lp_2 – число пластичности, рассчитанное по формуле (2); lp_3 – число пластичности, рассчитанное по формуле (3).

Таблица 3

Результаты статистической обработки данных
 по параметрам микроструктуры ($n = 21$)

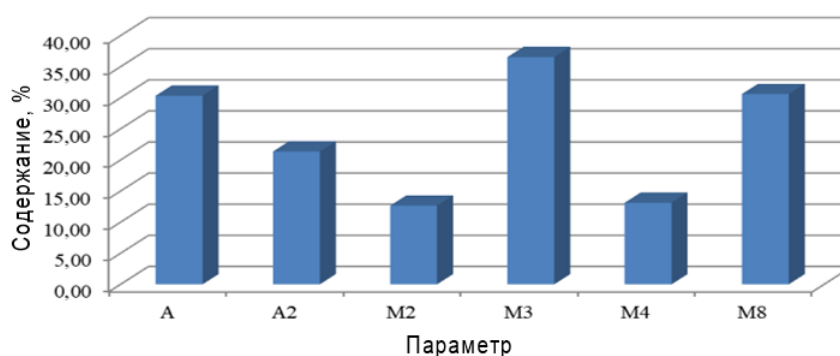
Table 3

Results of statistical processing of data
 on microstructure parameters ($n = 21$)

Статистический Показатель	Параметр микроструктуры, %					
	A	A2	M2	M3	M4	M8
X_{cp}	30,3	21,4	12,7	36,6	13,1	30,6
X_{min}	17,2	8,1	1,2	19,2	7,1	20,3
X_{max}	40,9	37,7	30,9	50	21,1	39,6
σ	7,76	9,34	8,58	6,95	3,79	5,35
V	26	44	68	19	29	17
θ	6,43	7,72	7,06	5,14	2,99	4
Md	30,9	22,4	10	37,7	12,5	31,2

Примечание. X_{cp} , X_{min} , X_{max} – среднее, минимальное, максимальное значения параметров микроструктуры; σ – стандартное отклонение; θ – среднее отклонение; V – коэффициент вариации; Md – среднемедианное значение.

Note. X_{cp} , X_{min} , X_{max} – mean, minimum, maximum values of microstructure parameters; σ – standard deviation; θ – mean deviation; V – coefficient of variation; Md – mean median value.



Соотношение основных параметров микроструктуры:

A – общее количество агрегатов; A2 – тонко-мелкопесчаные агрегаты;
 M2 – первичные тонко-мелкопесчаные частицы; M3 – первичные крупнопылеватые частицы 0,05–0,01 мм; M4 – первичные мелкопылеватые частицы 0,010–0,002 мм;
 M8 – реальное содержание фракции < 0,002 мм

Microstructure parameters:

A – total number of aggregates; A2 – fine fine-sandy aggregates;
 M2 – primary fine-sandy particles; M3 – primary coarse-dust particles, 0.05–0.01 mm; M4 – primary fine-dust particles, 0.010–0.002 mm;
 M8 – real fraction content < 0.002 mm

Расчеты по указанным формулам выполнены для 22 объектов; представлены экспериментальные (I_p) и прогнозные (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) значения числа пластичности и пределы текучести (табл. 4).

По этим материалам можно отметить высокий уровень совпадения: все 22

образца относятся к суглинкам при условии изменения предела текучести от 28,8 до 35,4 %.

Далее была проведена статистическая обработка данных о числах пластичности грунтов, полученных экспериментальным и расчетным методами (табл. 5).

Таблица 4
Экспериментальное (Ip) и расчетные (Ip_1, Ip_2, Ip_3) значения числа пластичности, %
Table 4
Experimental (Ip) and calculated (Ip_1, Ip_2, Ip_3) values of the plasticity number, %

Номер образца	Показатель пластичности, %				
	W_m	Ip	Ip_1	Ip_2	Ip_3
1	28,8	8,4	10,6	9	9,4
2	29,7	9,7	11,3	9,8	9,9
3	32,5	11,7	13,4	12	11,6
4	35	11,9	15,3	14	13,1
5	32,7	11,1	13,5	12,2	11,7
6	29,4	8,4	11,1	9,5	9,7
7	28,8	9	10,6	9	9,4
8	30,4	10	11,8	10,3	10,3
9	35,5	15,6	15,6	14,4	13,4
10	28,9	9,8	10,7	9,1	9,4
11	32,4	12,4	13,3	11,9	11,5
12	33,2	11,3	13,9	12,6	12
13	32,7	11,4	13,5	12,2	11,7
14	31,5	10	12,6	11,2	11
15	34,1	11,7	14,6	13,3	12,5
16	34,3	12,5	14,7	13,4	12,7
17	34,5	12,5	14,9	13,6	12,8
18	30,5	9,2	11,9	10,4	10,4
19	33,3	12,4	13	12,6	12,1
20	33,2	10,8	13,9	12,6	12
21	30,7	9,6	12	10,6	10,5
22	30,3	9,1	11,7	10,2	10,3

Таблица 5
Результаты статистической обработки данных по экспериментальным и расчетным значениям числа пластичности лессовых и глинистых грунтов
Table 5
Results of statistical data processing on experimental and calculated values of the plasticity number for loess and clay soils

Статистический показатель	Показатель пластичности, %				
	W_m	Ip	Ip_1	Ip_2	Ip_3
X_{cp}	31,93	10,84	12,95	11,54	11,22
X_{min}	28,8	8,4	10,6	9,04	9,35
X_{max}	35,5	15,6	15,63	14,4	13,36
σ	2,12	1,73	1,59	1,7	1,27
$V, \%$	7	16	12	15	11
θ	1,84	1,39	1,38	1,47	1,1
Md	32,45	10,95	13,34	11,96	11,54

Примечание. Условные обозначения статических показателей см. в табл. 3.
Note. Conventional signs for the statistical parameters are given in Table 3.

При незначительных изменениях предела текучести (коэффициент вариации – 7 %) достаточно стабильное распределение имеют все четыре значения пластичности (коэффициент вариации – 11–16 %). Близки и абсолютные средние значения исследуемого показателя (11–13–12–11).

На заключительном этапе сопоставлений использована компьютерная программа «Кластер-анализ R-типа» [14]. Матрица включала значения числа пластичности в четырех вариантах для 22 образцов лессовых грунтов участка. Коэффициент корреляции (горизонтальная ось на графике-дендрограмме) между экспериментальными (I_p) и расчетными (I_{p1} , I_{p2} , I_{p3}) значениями числа пластичности высокий – 0,9.

Заключение

Таким образом, при использовании метода «Микроструктура» определены основные микроструктурные параметры лессовых грунтов участка: общее количество агрегатов и их разновидностей, содержание первичных (свободных) частиц и реальная глинистость (реальное содержание фракции < 0,002 мм).

На основе статистической обработки данных и графических построений выявлены общие микроструктурные особенности грунтов: относительно стабильная агрегированность (установлен скелетно-агрегированный тип микроструктуры), преобладание крупнопылеватых первичных частиц (они отсутствуют в составе агрегатов), высокая (20,3–39,6 %) реальная глинистость (за счет частиц менее 0,002 мм, которые в большом количестве находятся в агрегатах), незначительная примесь тонко-мелкопесчаных, мелкопылеватых первичных частиц, распределение которых отличается разнообразием.

Преимущество метода «Микроструктура» связано с возможностью получения количественной информации о содержании различных микроструктурных параметров.

Выполненные расчеты числа пластичности по прогнозным формулам и их совпадение с экспериментальными данными позволяют рекомендовать их использование для оценки пластичности лессовых и глинистых грунтов.

Библиографический список

1. Li-dong B., Ke-rui C., Wen-kui H. Mineral composition and microstructural swelling of the soil in the southern part of Hefei-Xuzhou Expressway (China) // Journal of Chengdu Inst. Technical. 2001. № 2. P. 148–153.
2. Li Lan. Studying of a microstructure of loess // Shuiwendizhi gongcheng dizhi – Hydrogeology and Engineering Geology. 2004. Vol. 31. № 3. P. 17–19.
3. Qinq W., Feng-yan W., Shu-fang X. Quantitative study of the characteristics of the soil microstructure and the use of their results in desighing // Journal of Chengdu Inst. Technical. 2001. № 2. P. 148–153.
4. Yang T.-L., Gong S.-L. Microscopic analysis of the engineering geological behavior of soft clay in Shanghai, China // Bulletin of Engineering Geology and the Environment. 2010. Vol. 69. № 4. P. 607–615.
5. Рященко Т.Г. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2010. 287 с.
6. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Л.: Недра, 1990. 327 с.
7. Рященко Т.Г., Акулова В.В., Ухова Н.Н., Штельмах С.И., Гринь Н.Н. Лессовые грунты Монголо-Сибирского региона. Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2014. 241 с.
8. Горькова И.М. Структурные и деформационные особенности осадочных пород различной степени уплотнения и литификации. М.: Наука, 1965. 128 с.
9. Ларионов А.К., Преклонский В.А., Аняньев В.П. Лессовые породы СССР и их строительные свойства. М.: Госгеотехиздат, 1959. 366 с.
10. Ларионов А.К. Методы исследования микроструктуры грунтов. М.: Недра, 1971. 199 с.
11. Галай Б.Ф. Использование границы текучести глинистых грунтов для характеристики их пластичности // Основания, фундаменты и механика грунтов. 1974. № 4. С. 23.

12. Галай Б.Ф. Корреляционные зависимости между показателями пластичности глинистых грунтов // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 1978. № 8. С. 100–103.

13. Рященко Т.Г., Тирских С.А. Определенные пластичности глинистых и лессовых грунтов:

оценка расчетного метода и рекомендации // Инженерные изыскания. 2016. № 8. С. 15–19.

14. Данилов Б.С. Кластерный анализ в EXCEL // Строение литосферы и геодинамика: материалы Всерос. молодежн. конф. Иркутск, 2001. С. 18–19.

References

1. Li-dong B., Ke-ruì C., Wen-kui H. Mineral composition and microstructural swelling of the soil in the southern part of Hefei-Xuzhou Expressway (China). *Journal of Chengdu Inst. Technical*, 2001, no. 2, pp. 148–153.

2. Li Lan. Studying of a microstructure of loess. *Shuiwendizhi gongcheng dizhi – Hydrogeology and Engineering Geology*, 2004, vol. 31, no. 3, pp. 17–19.

3. Qinq W., Feng-yan W., Shu-fang X. Quantitative study of the characteristics of the soil microstructure and the use of their results in designing. *Journal of Chengdu Inst. Technical*, 2001, no. 2, pp. 148–153.

4. Yang T.-L., Gong S.-L. Microscopic analysis of the engineering geological behavior of soft clay in Shanghai, China. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 2010, vol. 69, no. 4, pp. 607–615.

5. Ryashchenko T.G. *Regional'noe gruntovedenie (Vostochnaya Sibir')* [Regional soil science (Eastern Siberia)]. Irkutsk: Earth's Crust Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2010, 287 p. (In Russ.).

6. Lomtadze V.D. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva gornykh porod. Metody laboratornykh issledovaniy* [Physical and mechanical properties of rocks. Methods of laboratory research]. Leningrad: Nedra Publ., 1990, 327 p. (In Russ.).

7. Ryashchenko T.G., Akulova V.V., Ukhova N.N., Shtel'makh S.I., Grin' N.N. *Lessovye grunty Mongolo-Sibirskogo regiona* [Loess soils of the Mongolian-Siberian region]. Irkutsk: Earth's Crust Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences Publ., 2014, 241 p. (In Russ.).

8. Gor'kova I.M. *Strukturnye i deformatsionnye osobennosti osadochnykh porod razlichnoi stepeni uplotneniya i litifikatsii* [Structural and deformation features of sedimentary rocks of different density and lithification degree]. Moscow: Nauka Publ., 1965, 128 p. (In Russ.).

9. Larionov A.K., Preklonskii V.A., Anan'ev V.P. *Lessovye породы СССР i ikh stroitel'nye svoystva* [Loess rocks of the USSR and the construction properties]. Moscow: Gosgeotekhizdat Publ., 1959, 366 p. (In Russ.).

10. Larionov A.K. *Metody issledovaniya mikrostruktury gruntov* [Methods of soil microstructure investigation]. Moscow: Nedra Publ., 1971, 199 p. (In Russ.).

11. Galai B.F. Application of yield point for evaluating clay soils plasticity. *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Soil Mechanics and Foundation Engineering], 1974, no. 4, p. 23. (In Russ.).

12. Galai B.F. Correlation of clayey soils plasticity indices. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Geologiya i razvedka* [Proceedings of Higher Schools. Geology and Exploration], 1978, no. 8, pp. 100–103. (In Russ.).

13. Ryashchenko T.G., Tirsikh S.A. Determination of plasticity index of clay and loess soils: evaluation of computational method and recommendations. *Inzhenernye izyskaniya* [Engineering survey], 2016, no. 8, pp. 15–19. (In Russ.).

14. Danilov B.S. *Klasternyi analiz v EXCEL* [Cluster analysis in EXCEL]. *Materialy Vseros. molodezhn. konf. "Stroenie litosfery i geodinamika"* [Materials of the All-Russian youth's scientific conference "The lithosphere structure and geodynamics"]. Irkutsk, 2001, pp. 18–19. (In Russ.).

Критерии авторства / Authorship criteria

Вашестюк Ю.В., Рященко Т.Г. написали статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Yulia V. Vashestyuk, Tamara G. Ryashchenko are the authors of the article, hold equal copyright and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов / Responsibility for plagiarism

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of the article.

Сведения об авторах / Information about the authors



Вашестюк Юлия Владимировна,
кандидат геолого-минералогических наук,
доцент кафедры прикладной геологии, геофизики и геоинформационных систем,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
e-mail: vashestyuk_yv@istu.edu

Yulia V. Vashestyuk,
Cand. Sci. (Geol. & Mineral.),
Associate Professor at the Department of Applied Geology, Geophysics
and Geoinformation Systems,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
e-mail: vashestyuk_yv@istu.edu



Рященко Тамара Гурьевна,
доктор геолого-минералогических наук, профессор,
профессор кафедры прикладной геологии, геофизики и геоинформационных систем,
Институт недропользования,
Иркутский национальный исследовательский технический университет,
664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия,
ведущий научный сотрудник,
Институт земной коры СО РАН,
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128, Россия,
e-mail: ryashenk@crust.irk.ru

Tamara G. Ryashchenko,
Dr. Sci. (Geol. & Mineral.), Professor,
Professor, Department of Applied Geology, Geophysics and Geoinformation
Systems,
Institute of Subsoil Use,
Irkutsk National Research Technical University,
83, Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia,
Senior Researcher,
Institute of the Earth's Crust, SB RAS,
128, Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia,
e-mail: ryashenk@crust.irk.ru