

УДК 624.131.1. (571.5)

DOI 10.21285/0130-108X-2016-56-3-57-68

ЛЕССОВЫЙ ПРОЛЮВИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ: ЛИТОЛОГИЯ, МИКРОСТРУКТУРА, СВОЙСТВА (НА ПРИМЕРЕ ОПОРНОГО РАЗРЕЗА «ДЕСЯТНИКОВО»)© Т.Г. Рященко¹¹Институт земной коры СО РАН, 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 128.¹Иркутский национальный исследовательский технический университет, Россия, 664074, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 83.

На примере опорного разреза рассмотрены результаты изучения литологического состава и микроструктурных параметров пролювиальных лессовых отложений Забайкалья, определены признаки пływунности, плотность минеральной части, емкость катионного обмена, степень водоустойчивости, пластические свойства; получены значения числа пластичности по прогнозным формулам с оценкой степени совпадения экспериментальных и расчетных данных. По литологическим особенностям и некоторым свойствам обосновано выделение в разрезе горизонтов погребенных почв на общем фоне переслаивания типичных лессовидных супесей и связных (агрегированных) песков. При обработке данных по содержанию различных микроструктурных параметров (метод «Микроструктура») использована программа «Стандартная статистика». Установлен агрегированно-скелетный тип микроструктуры отложений разреза, при котором преобладают агрегаты и первичные частицы 0,25–0,05 мм. К признакам возможной пływунности пролювиальной толщи относится резкое (на 13°) снижение угла откоса под водой. Совпадение экспериментальных и расчетных значений числа пластичности исследованных образцов ($n = 23$) составило 87%.

Ключевые слова: лессовые отложения, литологический состав, микроструктура, структурная модель, пролювий, пластичность, водоустойчивость.

Формат цитирования: Рященко Т.Г. Лессовый пролювий Забайкалья: литология, микроструктура, свойства (на примере опорного разреза «Десятниково») // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2016. № 3 (56). С. 57–68. DOI 10.21285/0130-108X-2016-56-3-57-68.

LOESS PROLUVIUM OF TRANSBAIKALIA: LITHOLOGY, MICROSTRUCTURE, PROPERTIES (ON EXAMPLE OF THE REFERENCE SECTION «DESYATNIKOVO»)**Ryashchenko T.G.**

Institute of the Earth's Crust SB RAS, 128 Lermontov St., Irkutsk, 664033, Russia.

Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St., Irkutsk, 664074, Russia.

On example of a key section the author considers the results of studying the lithological composition and microstructural parameters of Trans-Baikal proluvial loess deposits; identifies the features of quick-sand; determines the density of the mineral part, cation exchange capacity, water resistance degree, and plastic properties; obtains the values of the plastic index using the predicted formulas with the assessment of the agreement degree of experimental and calculated data. On the general background of interbedding of typical loess-like sandy loams and cohesive (aggregated) sands the author substantiates the identification of buried soil horizons in the section on the basis of lithological features and some properties. The program “Standard statistics” is used for the processing of data on the content of various microstructural parameters (“Microstructure” method). The aggregated-skeletal type of the section deposition microstructure with predominant aggregates and primary particles of 0,25–0,05 mm is determined. The sharp decrease (by 13°) of slope gradient under water is referred to the evidences of possible quicksand of proluvial formation. The coincidence of the experimental and calculated values of the investigated samples plastic index ($n = 23$) amounts to 87%.

¹Рященко Тамара Гурьевна, доктор геолого-минералогических наук, ведущий научный сотрудник ИЗК СО РАН, профессор кафедры прикладной геологии Института недропользования ИРНТУ, e-mail: ryashenk@crust.irk.ru

Ryashchenko Tamara, Doctor of Geological and Mineralogical sciences, Leading Researcher of the Institute of the Earth's Crust SB RAS, Professor of the Department of Applied Geology of the Institute of Subsoil Use of Irkutsk National Research Technical University, e-mail: ryashenk@crust.irk.ru

Keywords: loess deposits, lithological composition, microstructure, structural model, proluvium, plasticity, water resistance.

For citation: Ryashchenko T.G. Loess proluvium of Transbaikalia: lithology, microstructure, properties (on example of the reference section "Desyatnikovo"). Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences, Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Ore Deposits. 2016. No. 3 (56). Pp. 57–68. DOI 10.21285/0130-108X-2016-56-3-57-68.

Введение

Изучение инженерно-геологических и геолого-литологических разрезов лессовых отложений в Монголо-Сибирском регионе (юг Восточной Сибири и Западная Монголия) продолжалось длительное время. Итогом этих исследований явилась монография, опубликованная усилиями авторского коллектива совсем недавно [1]. Забайкалью посвящены материалы двух ключевых участков: «Улан-Удэ» (разрезы «Тологой», «Ключево» и «Засухино») и «Могойтуй». По геологическим данным относительно мощные (до 12–18 м) циклично построенные толщи относятся к разновозрастному пролювию [2–4].

В почвенно-лессовой серии на основе палеомагнитных исследований выделяется три механизма различий между лессовыми отложениями и горизонтами погребенных почв: китайский педогенный, аляскинский ветровой и западно-сибирский смешанный [5]. Для Забайкалья предложена западно-сибирская модель, согласно которой погребенные почвы по литологическим и микроструктурным признакам почти не отличаются от лессовидных отложений [1].

В настоящее время появилась возможность получить новые данные о лессовом пролювии Забайкалья на примере опорного разреза «Десятниково» (Республика Бурятия). Летом 2013 г. в расчистке (мощность 8,2 м) в овраге Гигантский около с. Десятниково сотрудниками Геологического института СО РАН проведено детальное (через 0,2 м) опробование отложений. На основе соглашения о творческом содружестве в Институт земной коры СО РАН (ИЗК СО РАН – грунтоведческая группа лаборатории инженерной геологии и геоэкологии)

были переданы 38 воздушно-сухих образцов нарушенной и частично ненарушенной структуры для комплексных исследований их микроструктуры, состава и свойств.

В ИЗК СО РАН разработан комбинированный метод изучения циклично построенных разрезов лессовых и глинистых грунтов, когда одновременно на одном объекте собирается комплексная информация литологического и грунтоведческого характера, которая позволяет рассмотреть возможный сценарий формирования отложений и их признаков [6–8]. Представленный детально опробованный разрез является новым региональным объектом для реализации данного метода.

В статье рассмотрены результаты первого этапа исследований, посвященного детальной литологии, характеристике микроструктуры и некоторых свойств отложений.

Литология разреза

Полученные для лабораторных исследований образцы были детально просмотрены с использованием лупы четырехкратного увеличения, при этом определялась реакция на карбонатность.

В разрезе выделены следующие литологические разновидности: связные (облессованные) пески, типичные лессовидные супеси, нормальные (сыпучие) пески (только в нижней части разреза) и горизонты погребенных почв (рис. 1). Нижняя погребенная почва (ппг1) установлена в интервале 7,9–8,2 м, следующие соответственно 7,1–7,3 м (ппг2), 4,1–4,5 м (ппг3), 2,1–2,3 м (ппг4). Эти горизонты обнаружены на общем фоне переслаивания связных песков и типичных лессовидных супесей по литологическим признакам, к числу которых отно-

сятся светло-серый цвет, заметная прочность воздушно-сухих образцов ненарушенной структуры, гумусовые пятна и растительные остатки в горизонтальных канальцах, отсутствие реакции с соляной кислотой (ппг1,2). В качестве примера приведем описание некоторых образцов, представляющих указанные литологические разновидности, которым присвоены определенные индексы.

3Б–1,0 м. Связный песок (ps*), желтовато-серый; в пакете – пылеватая масса и куски ненарушенной структуры, которые ломаются с небольшим усилием; излом имеет бугристую поверхность, видны следы тонкой слоистости, мелкие макропоры и крупные червеходы, много черных мелких пластинча-

тых зерен (угольки?); отмечается реакция с HCl (5%).

15Б–3,4 м. Лессовидная супесь (ls), серовато-желтая (характерный палевый цвет); в пакете имеются крупные куски ненарушенной структуры, которые ломаются с некоторым усилием; поверхность излома ребристая, видны многочисленные макропоры-зацепки (вероятнее всего, криогенного происхождения); отмечаются углистые включения (0,3–0,5 мм), округлые «дырки» – червеходы, крупные единичные макропоры (диаметр до 0,6 мм); фиксируется активная реакция с HCl (5%).

37Б–7,8 м. Песок тонкозернистый (сыпучий) (ps), пылеватый, желтовато-серый; реакции с HCl (5%) отсутствует.

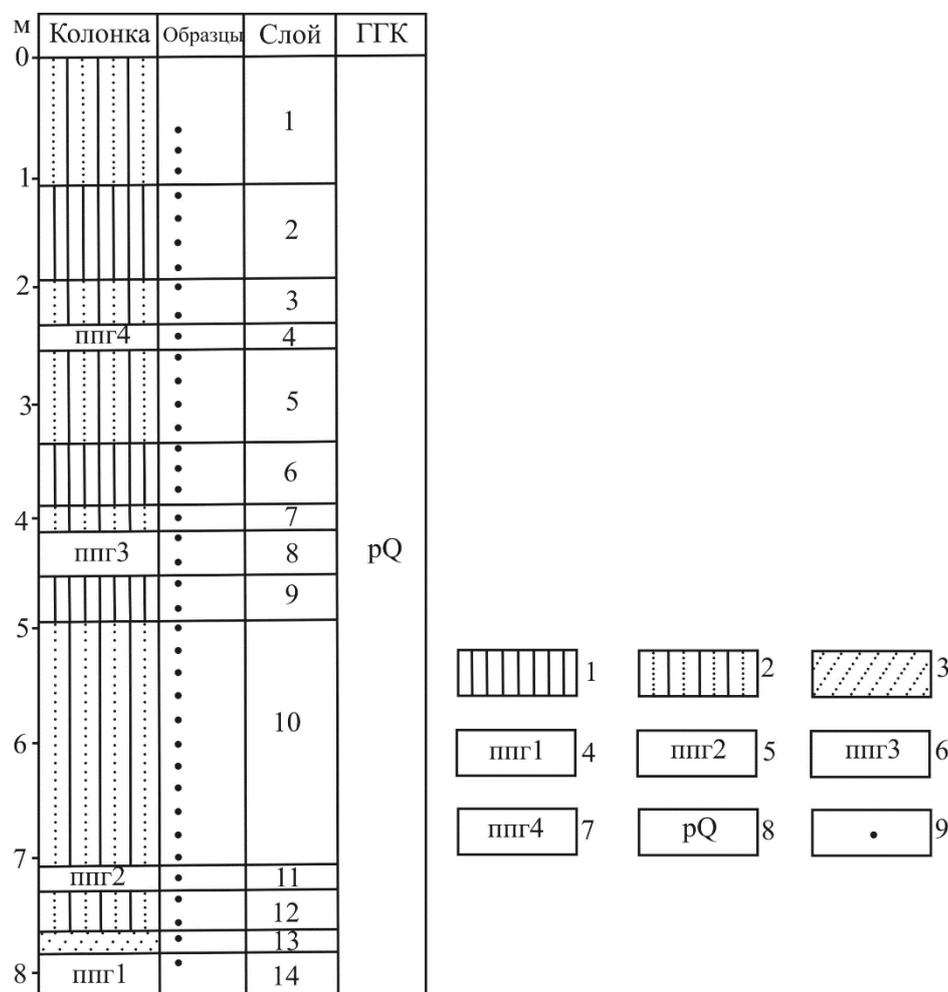


Рис. 1. Геолого-литологическая колонка (разрез «Десятниково»):

1 – лессовидные супеси ls; 2 – связные пески ps*; 3 – пески ps; погребенные почвенные горизонты: 4 – первый (нижний); 5 – второй; 6 – третий; 7 – четвертый (верхний); ГГК – геолого-генетический комплекс: 8 – пролювиальный нерасчлененный; 9 – место отбора образца

38Б–8,0 м. Суглинок светло-серый (ппг1); в пакете – большие куски (до 10–12 см), которые ломаются с заметным усилием; поверхность излома слегка ребристая, видны горизонтальные каналы с растительными остатками и округлые «трубочки» (углубления); реакция с HCl (5%) отсутствует.

10Б–2,4 м. Суглинок желтовато-серый (ппг4); в пакете – пылеватая масса и большой (до 10 см) кусок ненарушенной структуры, который ломается с заметным усилием; поверхность излома относительно ровная, слегка бороздчатая, с мелкими макропорами, похожими на соты, видны редкие черные пластинчатые зерна (угольки?); фиксируется реакция с HCl (5%).

Отмечаются следующие особенности разреза: чередование связных песков и типичных лессовидных супесей; черные пластинчатые углистые включения в верхней части толщи; почти полное отсутствие нормальных (сыпучих) песчаных разновидностей; появление прослоев светло-серых суглинков с признаками погребенной почвы; до глубины 6,1 м отложения реагируют с соляной кислотой (обогащены CaCO_3), ниже реакция пропадает (возможно, появляются железистые или магниевые карбонаты).

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 – особого геохимического типа выветривания при ведущей роли криогенных воздействий в условиях перигляциальных областей плейстоцена – голоцена [1, 9]. Свидетелем постдиагенетических криогенных воздействий является макропористость, обнаруженная на поверхности излома воздушно-сухих образцов ненарушенной структуры. Различные виды макропор наблюдались в лессовидных супесях и горизонтах

погребенных почв. Следовательно, вся толща испытала криогенные воздействия в постдиагенетическую стадию своего развития.

Накопление отложений (стадия седиментогенеза) проходило циклично, при этом пролювиальный путь транспортировки определил преобладание песчаного (формировались связные пески) или пылевато-глинистого (формировались лессовидные супеси) материала. При потеплении климата в результате перерыва в аккумуляции происходило образование обедненного гумусовым веществом почвенного покрова – это и были выделенные по литологическим признакам четыре погребенных почвенных горизонта (содержание гумуса зафиксировано только в ппг2,3).

Микроструктура

Микроструктурные параметры связных песков, лессовидных супесей и погребенных почв определялись для 19 образцов по методу «Микроструктура» [10, 11], основанному на результатах гранулометрического анализа, который выполняется методом пипетки с тремя вариантами подготовки образца: агрегатной, полудисперсной (стандартной) и дисперсной, после чего рассчитываются коэффициенты микроагрегатности для шести фракций и проводятся специальные расчеты для получения 28 параметров микроструктуры. Для восьми основных параметров выполнена статистическая обработка данных по разрезу (табл. 1). По средним значениям содержания этих параметров построен график, отражающий роль каждого в исследованном разрезе (рис. 2).

По общему содержанию агрегатов (А) установлена агрегированно-скелетная микроструктура, при этом преобладают их тонко-мелкопесчаные (А2) и крупно-пылеватые (А3) разновидности; практически нет самых крупных (0,50–0,25 мм) агрегатов. Среди первичных (свободных) частиц господствуют также тонко-мелкопесчаные (М2), которые в сумме с агрегатами той же размерности создают тонко-мелкопесчаную модель микро-

Таблица 1

Результаты статистической обработки параметров микроструктуры отложений геолого-литологического разреза «Десятниково» ($n = 19$)

Π	Параметр микроструктуры, %							
	A	A_2	A_3	M_2	M_3	M_4	M_8	M_7
X_{cp}	19,4	10,7	7,8	53,5	22,3	2,5	17,9	15,7
X_{min}	16,1	3,1	0,0	34,9	10,2	0,6	13,7	13,0
X_{max}	26,8	21,8	14,3	70,6	34,3	7,6	29,0	23,4
σ	2,97	4,53	4,10	8,98	6,47	1,61	2,88	2,44
$V, \%$	15	42	53	17	29	64	16	16
θ	2,28	3,37	3,28	6,92	4,98	1,18	1,75	1,74
M_d	19,1	9,8	8,7	53,8	22,8	2,0	18,0	15,9

Примечание. Здесь и в табл. 2, 3, на рис. 2: A – общее количество агрегатов; A_2, A_3 – содержание тонко-среднепесчаных (0,25–0,05 мм) и крупнопылеватых (0,05–0,01 мм) разновидностей; M_2, M_3, M_4 – содержание первичных (свободных) тонко-среднепесчаных, крупнопылеватых и мелкопылеватых (0,01–0,002 мм) частиц; M_8 – реальная глинистость (общее содержание фракции <0,002 мм в виде первичных частиц и в составе агрегатов); M_7 – реальное содержание тонкоглинистых (<0,001 мм) фракций. Π – статистические показатели: X_{cp}, X_{min}, X_{max} – среднее, минимальное и максимальное значения параметра микроструктуры; σ – стандартное отклонение; V – коэффициент вариации; θ – среднее отклонение; M_d – медиана; n – количество образцов.

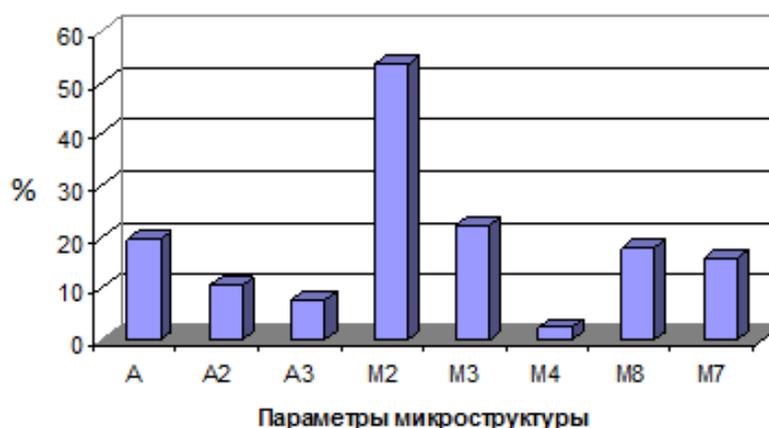


Рис. 2. Содержание параметров микроструктуры (средние значения) в отложениях разреза «Десятниково», %
Условные обозначения даны в табл. 1

структуры отложений разреза. В угнетенном состоянии находится мелкопылеватый первичный материал, крупнопылеватые частицы резко уступают песчаным.

Реальная глинистость отложений (17,9%) соответствует суглинкам, при этом основную массу составляют тонкоглинистые (<0,001 мм) фракции, которые свободными не являются, поскольку мобилизованы в агрегаты (их коэффициент свободы в среднем 7%). Наиболее однородным распределением в разрезе ($V = 15$ –17%) характеризуются количе-

ство агрегатов, содержание первичных тонко-мелкопесчаных частиц и величина реальной глинистости. Эти микроструктурные признаки являются общими для исследованной пролювиальной толщи, особенно следует отметить пониженное присутствие крупнопылеватого материала. Максимальная изменчивость ($V = 42$ –53%) в разрезе установлена для разновидностей агрегатов (A_2, A_3).

Связные пески, лессовидные супеси и погребенные почвы почти не отличаются по параметрам микроструктуры (подтверждается западно-сибир-

ская модель формирования почвенно-лессовой толщи). Можно отметить одну закономерность: в нижних, более древних горизонтах (ппг1,2) в составе агрегатов больше крупнопылеватых разновидностей, в верхних (ппг3,4), наоборот, их количество резко сокращается за счет тонко-мелкопесчаных (табл. 2). Наличие агрегированности в отложениях подтверждает коэффициент глинистости, который рассчитывается в долях единицы как отношение содержания фракции <0,002 мм, полученной при гранулометрическом анализе с дисперсной подготовкой образца (M8), и стандартной (M9) ($K_{2л} = M8/M9$). В среднем этот коэффициент составляет 2,7 (1,9–4,4), то есть при разрушении агрегатов реальное содержание глинистой фракции возрастает в несколько раз.

Формирование агрегатов происходило под воздействием процессов лессового литогенеза в постдиагенетическую стадию, поэтому они относятся к эпигенетическим разновидностям; главный материал для их образования – тонкоглинистые частицы [1].

Свойства

Определялись седиментационный объем (V , см³), плотность минеральной части (P_s , г/см³), время размокания

воздушно-сухих образцов ненарушенной структуры (T), число пластичности (экспериментальное I_p , расчетные по прогнозным формулам № 1 – I_{p1} , № 2 – I_{p2} , № 3 – I_{p3}); для связных песков измерялись углы естественного откоса на воздухе (ϕ_1) и под водой (ϕ_2) с расчетами $\Delta\phi$. Эти определения выполнялись по стандартным [12] и специальным [13] методикам. Кроме того, для 22 образцов измерялась емкость катионного обмена (ЕКО, мг-экв на 100 г вещества) с помощью красителя метиленового голубого [14], которая характеризует их физико-химическую активность. Выполнена статистическая обработка данных по указанным свойствам (табл. 3). Водоустойчивость объектов рассмотрена отдельно.

Седиментационный объем в среднем 3,2 см³, изменчивость показателя небольшая (коэффициент вариации 11%); преобладают значения <3,3, значит, связные пески и лессовидные супеси относятся к потенциальным плавунам без структурных связей. Для погребенных почв четко фиксируются значения >3,3 (3,5–3,6 см³), следовательно, во-первых, это признак для их выделения и, во-вторых, он указывает на присутствие особых структурных связей в этом типе потенциально плавунных образований.

Таблица 2

Параметры микроструктуры различных литологических разновидностей отложений

Образцы – глубина, м	Индекс	A	A2	A3	M2	M3	M4	M8
3Б–1,0	ps*	20,7	13,0	6,8	50,7	24,1	1,7	16,5
12Б–2,8	ps*	21,6	7,6	13,3	42,5	30,2	3,4	20,0
15Б–3,4	ls	20,6	9,4	10,1	34,9	34,3	7,6	20,0
21Б–4,6	ls	20,7	10,0	9,5	46,3	27,3	2,8	18,3
10Б–2,4	ппг4	18,9	16,5	1,7	55,6	19,9	0,9	17,3
18Б–4,0	ппг3	18,3	9,4	8,7	55,6	17,7	4,4	17,1
20Б–4,4	ппг3	14,2	11,6	2,1	45,1	34,0	3,6	17,2
34Б–7,2	ппг2	17,5	3,1	12,6	55,1	23,1	2,0	19,7
38Б–8,0	ппг1	20,3	9,9	10,1	49,8	25,8	1,9	17,9

Примечание. Условные обозначения даны в табл. 1.

Таблица 3

**Результаты статистической обработки
показателей свойств отложений разреза**

<i>П</i>	<i>V</i> , см ³ <i>n</i> = 38	<i>Ps</i> <i>n</i> = 21	$\Delta\varphi$ <i>n</i> = 17	<i>EKO</i> <i>n</i> = 22	<i>Ip</i> <i>n</i> = 23	<i>Ip1</i> <i>n</i> = 23	<i>Ip2</i> <i>n</i> = 23	<i>Ip3</i> <i>n</i> = 23
<i>X_{cp}</i>	3,2	2,74	13	30	3,9	7,3	5,6	6,7
<i>X_{min}</i>	2,4	2,57	9	5	1,8	5,8	3,9	5,5
<i>X_{max}</i>	3,7	2,89	18	63	7,5	9,3	7,9	8,5
σ	0,34	0,08	2,51	13,79	1,44	1,07	1,15	0,85
<i>V</i> , %	11	3	19	46	37	15	20	13
θ	0,27	0,06	1,90	10,39	1,16	0,84	0,92	0,67
<i>M_d</i>	3,2	2,75	13	31	3,8	7,1	5,4	6,5

Приечаниче. Условные обозначения даны в табл. 1.

Расшифровка показателей свойств представлена выше (в тексте).

Плотность минеральной части в среднем составляет 2,74 г/см³ при очень слабой изменчивости (*V* = 3%), однако снова появляется признак для выделенных почвенных горизонтов в виде его повышенных значений – 2,86 (ппг1), 2,89 (ппг3) или, наоборот, пониженных – 2,68 (ппг2) и 2,57 (ппг4).

Углы естественного откоса. Для всех исследованных образцов связных песков установлено резкое понижение угла откоса под водой (в среднем на 13°), что также подтверждает их плавунную опасность.

Емкость катионного обмена отложений характеризуется максимальным трендом в разрезе (коэффициент вариации 46%), что, по всей вероятности, связано с присутствием погребенных почв. Действительно, для выделенных четырех почвенных горизонтов этот показатель составил 31–42 мг-экв, для связных песков и лессовидных супесей изменяется в очень широких пределах (5–63 мг-экв). Следует отметить, что способность связных песков проявлять физико-химическую активность (5–52 мг-экв) – особый (аномальный) признак.

Водоустойчивость оценивалась по времени размокания воздушно-сухих образцов в специальном приборе. В соответствии с имеющимися данными выделяется несколько типов: мгновенное размокание (I) – менее одной минуты, очень быстрое (II) – за 30 мин, быстрое (III) –

за 1 ч, медленное (IV) – за 6 ч, очень медленное (V) – за 24 ч; образец, который не разрушается более 24 ч, считается водостойчивым [15]. Выполненные ранее исследования показали, что на повышение водостойчивости глинистых и лесовых отложений влияют количество агрегатов (*A*), реальная глинистость (*M8*) и содержание тонко-мелкопесчаных агрегатов (*A2*) [11].

В исследованном разрезе время размокания (*T*) определялось для 27 образцов. Установлены четыре группы: I – мгновенное разрушение (*T* < 1 мин, 10 образцов); II – очень быстрое разрушение (*T* = 1–8 мин, 12 образцов); III – очень медленное разрушение (*T* = 6–24 ч, 3 образца); IV – водостойчивые разновидности (*T* > 24 ч, 2 образца). Для второй группы можно выделить три подгруппы в зависимости от времени размокания: а) 1–2 мин (6 образцов); б) 2–4 мин (3 образца); в) 4–8 мин (3 образца). Таким образом, в разрезе явно преобладают мгновенно и очень быстро размокаемые разновидности (81%). Относительно водостойчивыми оказались только пять образцов: ппг3 (III–IV группы), ппг1 (III), ппг2 (IIIa). Значит, для выделенных погребенных почвенных горизонтов в качестве особого признака можно отметить водостойчивость их воздушно-сухих аналогов, при этом агрегаты и реальная глинистость в данном случае особой роли не играют, причину следует искать

в составе структуроформирующих компонентов.

Пластичность. Для отложений разреза определены экспериментальные значения пределов (Wm – предел текучести, Wp – предел пластичности) и числа пластичности, затем проведены прогнозные расчеты числа пластичности по специальным формулам: № 1 – $Ip1 = 0,75Wm-11$; № 2 – $Ip2 = 0,8Wm-14$; № 3 – $Ip3 = 0,599Wm-0,079$ [13]. В первых двух случаях расчеты ведутся в процентах, в третьем – в долях единицы, затем переводятся в проценты. Далее выполнена оценка степени совпадения экспериментальных и расчетных данных по названию грунта согласно стандарту (супеси, суглинки, глины). Из 23 определений только 3 (13%) не соответствовали эксперименту – произошло повышение статуса (супеси «перешли» в суглинки), при этом предел текучести (Wm) оказался на общем фоне данных более высоким (26–28%). Следовательно, совпадение составило 87%, работали либо все формулы расчета числа пластичности, либо две последние: $Ip2$, $Ip3$.

Выполнена статистическая обработка данных по экспериментальным и расчетным значениям числа пластичности (см. табл. 3), построены графики по

средним значениям этого показателя с учетом степени его изменчивости в разрезе (использован коэффициент вариации V). Каковы же результаты?

Во-первых, по лабораторным данным все образцы относятся к супесям ($Ip < 7$), но степень изменчивости этого показателя в разрезе высокая ($V = 37\%$) (рис. 3). Можно предположить, что предел пластичности (Wp) определен не всегда точно. В то же время расчетные данные дают меньший диапазон изменчивости ($V = 13–20\%$), что подтверждает их стабильность по разрезу и возможность использования на практике (см. рис. 3).

Во-вторых, на графике хорошо видно совпадение средних прямых и расчетных значений числа пластичности ($Ip < 7$), только формула № 1 дает очень небольшое превышение (рис. 4).

Связные пески, лессовидные супеси и погребенные почвы по пластичности (Ip , $Ip3$) относятся к супесям, несмотря на высокие значения реальной глинистости (13,7–29%). В то же время агрегированность отложений действует на пластические свойства в разных направлениях: в связных песках она их создает (на уровне супеси), в супесях и суглинках снижает (до уровня супеси).

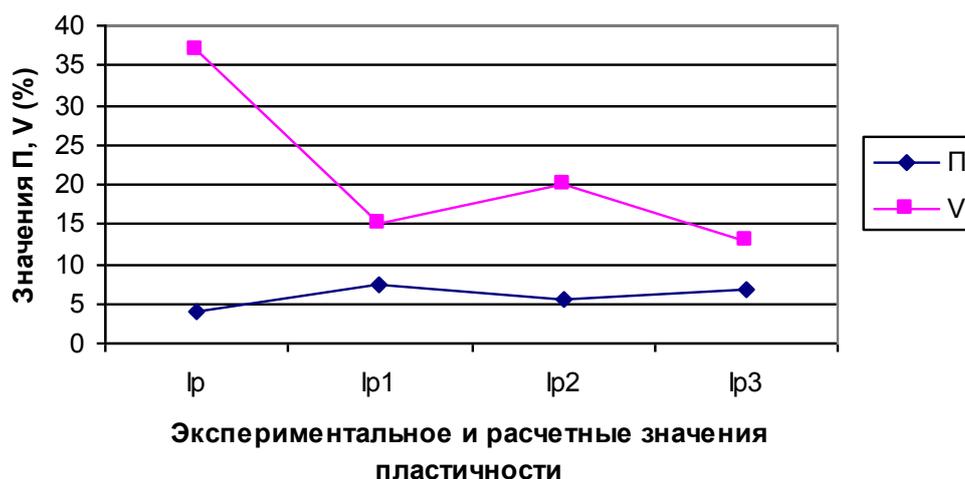


Рис. 3. Сопоставление экспериментальных и расчетных значений числа пластичности и характера ее изменчивости в разрезе (П – средние значения пластичности, V – коэффициент вариации)

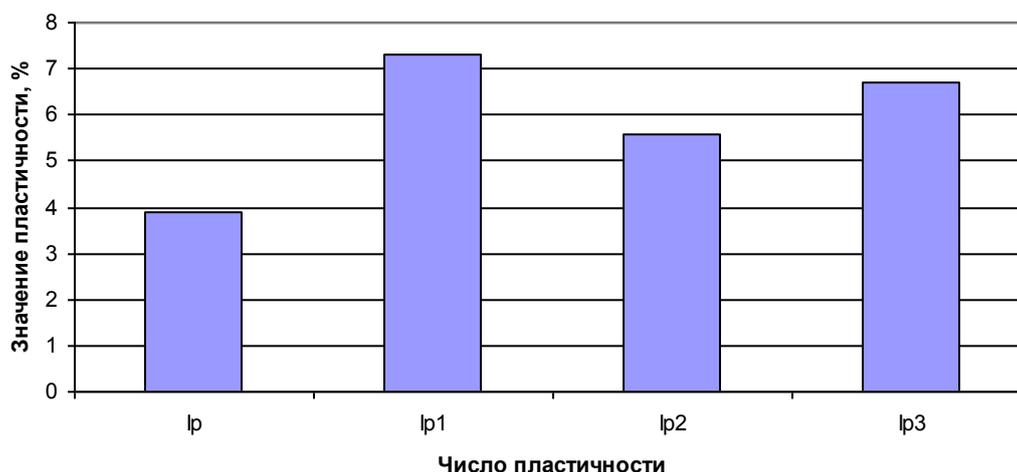


Рис. 4. Экспериментальное и расчетные значения числа пластичности (средние значения, $n = 23$)

Выводы

1. По литологическим признакам в исследованном разрезе пролювия выделяются связные пески, которые рассматриваются как продукт процессов лессового литогенеза, типичные лессовидные супеси и четыре горизонта погребенных почв.

2. Статистическая обработка данных о микроструктурных параметрах показала, что существенных отличий между погребенными почвенными горизонтами и субстратом (связными песками и лессовидными образованиями) не наблюдается (имеет место смешанная западно-сибирская модель для почвенно-лессовой серии пролювиального генезиса); преобладание тонко-мелкопесчаных агрегатов и первичных частиц того же размера, пониженное содержание крупнопылеватых фракций и почти полное отсутствие мелкопылеватого материала отражают пролювиальный способ накопления толщи.

3. Основным признаком отложенный разреза является их агрегированность, формирование которой происходило в постдиагенетическую стадию в результате процессов лессового литогенеза при участии криогенных воздействий.

4. Для погребенных почвенных горизонтов, выделенных по литологическим признакам, установлены некоторые

особенности их свойств: седиментационный объем более $3,3 \text{ см}^3$; плотность может быть максимальной или минимальной (влияет содержание тяжелых минералов); образцы отличаются водостойкостью (размокают медленно или вообще не разрушаются в течение 24 ч и более).

5. Содержание гумуса, определенное методом И.В. Тюрина [16] для 22 образцов разреза, показало его увеличение в связных песках верхней зоны глубиной до 1 м (0,49–0,61 %) и двух (ппг2,3) погребенных почвах (0,13–0,37%) при очень высокой степени изменчивости этого признака (коэффициент вариации 114%).

6. Выполнена проверка «работы» прогнозных формул для определения числа пластичности по пределу текучести, в результате уровень совпадения составил 87%, поэтому рекомендуем этот метод использовать в грунтоведческих лабораториях.

7. На пластические свойства отложений исследованного разреза оказывают существенное влияние параметры их микроструктуры: связные пески приобретают пластичность супеси (за счет резерва глинистых фракций в составе агрегатов), а лессовидные супеси и суглинки погребенных горизонтов снижают ее (за счет агрегирования) и также оказываются супесями.

8. Связные пески и лессовидные супеси склонны к плывуности, поскольку их седиментационный объем – менее $3,3 \text{ см}^3$ (водоустойчивые структурные связи отсутствуют); кроме того, эту способность связных песков подтверждает резкое (на 13°) снижение угла естественного откоса под водой.

Результаты получены с использованием материально-технической базы Центра коллективного пользования «Геодинамика и геохронология» ИЗК СО РАН г. Иркутска в рамках проекта НИР 0346-2014-0009.

Библиографический список

1. 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.

2. Базаров Д.Б. Четвертичные отложения и основные этапы развития рельефа Селенгинского Среднегорья. Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1968. 165 с.

3. Базаров Д.Б. Кайнозой Прибайкалья и Западного Забайкалья. Новосибирск: Наука, 1986. 180 с.

4. Базаров Д.Б., Резанов И.Н., Наумов А.В. О лессах и лессовидных отложениях Селенгинского Среднегорья и Юго-Восточного Прибайкалья. Геология, магматизм и полезные ископаемые Забайкалья // Труды Геологического института БурФ СО АН СССР. Вып. 5 (13). Улан-Удэ, 1974. С. 115–126.

5. Матасова Г.Г., Казанский А.Ю., Зыкина В.С. Наложение «аляскинской» и «китайской» моделей записи палеоклимата в магнитных свойствах отложений верхнего и среднего плейстоцена на юге Западной Сибири // Геология и геофизика. 2003. Т. 44. № 7. С. 638–651.

6. Рященко Т.Г., Ухова Н.Н., Слагода Е.А. Изучение проблемных геолого-литологических разрезов глинистых отложений с применением грунтоведческих критериев // Отечественная геология. 2009. № 4. С. 61–67.

7. Рященко Т.Г., Ухова Н.Н., Штельмах С.И. Сравнительный анализ геохимических особенностей лессовых пород юга Восточной Сибири и Беларуси // Отечественная геология. 2011. № 2. С. 82–87.

8. Рященко Т.Г. Системный анализ циклично построенных разрезов четвертичных глинистых и лессовых отложений // Отечественная геология. 2015. № 3. С. 53–61.

9. Рященко Т.Г., Ухова Н.Н. Химический состав дисперсных грунтов: возможности и прогнозы (Восточная Сибирь). Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2008. 131 с.

10. Рященко Т.Г. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). Иркутск: Изд-во ИЗК СО РАН, 2010. 287 с.

11. Вашестюк Ю.В. Микроструктура дисперсных грунтов юга Восточной Сибири и сопредельных территорий (на примере ключевых участков): автореф. дис. ... канд. геолог.-минералог. наук. Иркутск, 2014. 17 с.

12. Ломтадзе В.Д. Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. Л.: Недра, 1990. 327 с.

13. Рященко Т.Г., Тирских С.А., Вашестюк Ю.В. [и др.]. Расчетные формулы определения числа пластичности глинистых и лессовых грунтов по пределу текучести: возможности применения // Известия Сибирского отделения секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, поиски и разведка рудных месторождений. 2015. № 3 (52). С. 78–85.

14. Методические рекомендации по определению физико-химических свойств почв и грунтов при инженерно-геологических и почвенно-мелиоративных изысканиях / под ред. Л.И. Кульчицкого. М.: Союзводпроект, 1977. 68 с.

15. Цзе Чжан, Николаева С.К. Особенности размокания покровных суглинков Подмоскovie и красных глин Китая // *Геоэкология*. 2010. № 2. С. 85–88.

16. Лабораторные работы по грунтоведению: учеб. пособие / под ред. В.Т. Трофимова, В.А. Королева. М.: Высшая школа, 2008. 519 с.

References

1. 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: Institut zemnoi kory Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoi Akademii Nauk Publ., 2014. 241 p.

2. Bazarov D.B. *Chetvertichnye otlozheniya i osnovnye etapy razvitiya rel'efa Se-lenginskogo Srednegor'ya* [Quaternary sediments and the main development stages of the Selenga Srednegorie relief]. Ulan-Ude, Buryatskoe kniznoe izdatelstvo Publ., 1968. 165 p.

3. Bazarov D.B. *Kainozoi Pribaikal'ya i Zapadnogo Zabaikal'ya* [Baikal and Western Trans-Baikal Cenozoic]. Novosibirsk, Nauka Publ., 1986. 180 p.

4. Bazarov D.B., Rezanov I.N., Naumov A.V. O lessakh i lessovidnykh otlozheniyakh Selenginskogo Srednegor'ya i Yugo-Vostochnogo Pribaikal'ya. *Geologiya, magmatizm i po-leznye iskopayemye Zabaikal'ya* [On the loess and loess-like sediments of the Selenga Srednegorie and South-East Baikal area. Geology, magmatism and minerals of Transbaikalia]. *Trudy Geologicheskogo instituta Buryatskogo fonda Sibirskogo otdeleniya Akademii nauk Soyuzo Sovetskikh Sotsialisticheskikh Respublik*. [Proceedings of the Geological Institute of the Buryat fund of the Siberian Branch of the Academy of Sciences of the USSR]. V. 5 (13). Ulan-Ude, 1974. P. 115–126.

5. Matasova G.G., Kazanskii A.Yu., Zykina V.S. Nalozhenie «alyaskinskoi» i «ki-taiskoi» modelei zapisi paleoklimata v magnitnykh svoistvakh otlozhenii verkhnego i srednego pleistotsena na yuge Zapadnoi Sibiri [Overlay of “Alaska” and “Chinese” paleoclimate record patterns in the magnetic properties of the Upper and

Middle Pleistocene deposits in the south of Western Siberia deposits]. *Geologiya i geofizika* [Geology and Geophysics], 2003, V. 44, no. 7, pp. 638–651.

6. Ryashchenko T.G., Ukhova N.N., Slogoda E.A. Izuchenie problemnykh geologo-litologicheskikh razrezov glinistykh otlozhenii s primeneniem gruntovedcheskikh kriteriev [Study of the problem geological and lithological sections of clay deposits using soil criteria]. *Otechestvennaya geologiya* [National Geology], 2009, no. 4, pp. 61–67.

7. Ryashchenko T.G., Ukhova N.N., Shtel'makh S.I. Sravnitel'nyi analiz geokhimiche-skikh osobennosti lessovykh porod yuga Vostochnoi Sibiri i Belarusi [Comparative analysis of geochemical characteristics of loess rocks in the south of Eastern Siberia and Belarus]. *Otechestvennaya geologiya* [National Geology], 2011, no. 2, pp. 82–87.

8. Ryashchenko T.G. Sistemnyi analiz tsiklichno postroennykh razrezov chetvertichnykh glinistykh i lessovykh otlozhenii [System analysis of cycle-type sections of Quaternary clay and loess sediments]. *Otechestvennaya geologiya* [National Geology], 2015, no. 3, pp. 53–61.

9. Ryashchenko T.G., Ukhova N.N. *Khimicheskii sostav dispersnykh gruntov: vozmozh-nosti i prognozy (Vostochnaya Sibir')* [Chemical composition of dispersive soil: opportunities and forecasts (Eastern Siberia)]. Irkutsk, Institut zemnoi kory Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoi Akademii Nauk Publ., 2008. 131 p.

10. Ryashchenko T.G. *Regional'noe gruntovedenie (Vostochnaya Sibir')* [Regional soil science (Eastern Siberia)]. Irkutsk, Institut zemnoi kory Sibirskogo otdeleniya Rossiiskoi Akademii Nauk Publ., 2010. 287 p.

11. Vashestyuk Yu.V. *Mikrostruktura dispersnykh gruntov yuga Vostochnoi Sibiri i sopredel'nykh territorii (na primere klyuchevykh uchastkov)*: avtoref. dis. ... kand. geolog.-mineralog. nauk [Microstructure of dispersed soils in the south of Eastern Siberia and adjacent territories (on example of key sites): Abstract of the Candidate's Dissertation in Geological and Mineralogical Sciences]. Irkutsk, 2014. 17 p.

12. Lomtadze V.D. *Fiziko-mekhanicheskie svoystva gornykh porod. Metody labora-tornykh issledovaniy* [Physical and mechanical properties of rocks. Methods of laboratory researches]. Lenin-grad, Nedra Publ., 1990. 327 p.

13. Ryashchenko T.G., Tirskikh S.A., Vashestyuk Yu.V. Raschetnye formuly opredeleniya chisla plastichnosti glinistykh i lessovykh gruntov po predelu tekuchesti: vozmozhnosti primeneniya [Calculation formulas determining plasticity index of clayey and loess soils by the yield point: feasibility of application]. *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya seksii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, poiski i razvedka rudnykh*

mestorozhdenii [Proceedings of the Siberian Branch of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Prospecting and Exploration of Mineral Deposits], 2015, no. 3 (52), pp. 78–85.

14. Kul'chitskij L.I. *Metodicheskie rekomendatsii po opredeleniyu fiziko-khimicheskikh svoystv pochv i gruntov pri inzhenerno-geologicheskikh i pochvenno-meliorativnykh izyskaniyakh* [Methodological recommendations for determination of physical and chemical properties of soils and grounds under engineering-geological and soil-land reclamation surveys]. Moscow, Soyuzvodproekt Publ., 1977. 68 p.

15. Tsze Chzhan, Nikolaeva S.K. Osobennosti razmokaniya pokrovnykh suglinkov Pod-moskov'ya i krasnykh glin Kitaya [Slaking features of Moscow region cover clay loam and Chinese red clays]. *Geoekologiya* [Geoecology], 2010, no. 2, pp. 85–88.

16. Trofimov V.T., Korolev V.A. *Laboratornye raboty po gruntovedeniyu* [Laboratory works on soil science]. Moscow, Vysshaya shkola Publ, 2008. 519 p.

*Статья поступила 19.04.2016 г.
Article received 19.04.2016.*