

УДК 624.131.1

Т. Г. РЯЩЕНКО*, В. В. АКУЛОВА*, М. А. ЕРБАЕВА**

*Институт земной коры СО РАН, г. Иркутск

**Геологический институт СО РАН, г. Улан-Удэ

ФОРМИРОВАНИЕ ЛЁССОВИДНЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ЗАБАЙКАЛЬЯ (НА ПРИМЕРЕ КЛЮЧЕВЫХ УЧАСТКОВ)

На основе геолого-литологических материалов, сравнительного анализа, данных о микроструктуре, составе глинистых минералов и просадочности лёссовидных отложений Забайкалья рассматриваются гипотезы их формирования на примере циклично построенных разрезов в районе г. Улан-Удэ (Тологой-1, 2; Ключево-1, 2; Засухино) и современных делювиальных комплексов, вскрытых инженерно-геологическими скважинами в районе пос. Могойтуй (Агинский округ).

Ключевые слова: гипотеза, лёссовые отложения, криогенные воздействия, микроструктура, глинистые минералы, просадочность.

On the basis of geologo-lithological evidence, comparative analysis and data on microstructure, composition of clay minerals and subsidence of loess-like deposits in Transbaikalia, we examine the hypotheses concerning their formation through a case study of cyclically established sections in the area of the city of Ulan-Ude (Tolgoi-1, 2; Klochnovo-1, 2; Zasukhino) and contemporary deluvial complexes that were opened by engineering-geological boreholes in the area of the settlement of Mogoiitui (Aginskii okrug).

Keywords: hypothesis, loessal deposits, cryogenic effects, microstructure, clay minerals, subsidence.

ВВЕДЕНИЕ

Лёссовые отложения в Забайкалье, согласно геологическим данным, представлены лёссами и лёссовидными образованиями, которые широко распространены во многих районах Селенгинского среднегорья на склонах низких водоразделов и междуречий, а также в долинах рек Селенга, Хилок, Чикой, Итанцы [1–6]. Лёссы формировались эоловым путем за счет песков кривоярской свиты, лёссовидные отложения — в результате поступления эоловой пыли и ее вторичного переотложения при участии делювиально-пролювиальных процессов [7]. Обобщенные данные о четвертичных, в том числе лёссовых, отложениях региона приведены в монографии В. П. Портновой [8], посвященной описанию и анализу инженерно-геологических условий Центрального и Восточного Забайкалья.

Таким образом, изучение лёссовых отложений в Забайкалье, условий их формирования, литологических особенностей, состава и свойств, способствующих развитию опасных природно-техногенных процессов (линейная эрозия, суффозия, просадочность), достаточно интенсивно происходило в 1960–1970-е гг., а затем этот объект исчез из поля зрения геологов, географов и инженеров-геологов. Так, в статье зарубежных и российских авторов, опубликованной в 2003 г. в журнале «Engineering Geology» и посвященной обзору российских научных публикаций по лёссовой проблеме, на представленных схематических картах Забайкалье вообще не попало в число территорий распространения лёссовых отложений [9].

В 1993 г. были выполнены детальные палеонтологические исследования на специально сделанных ступенчатых расчистках глубиной до 5–6 м в районе ранее изученных опорных разрезов лёссовидных отложений Тологой-1 и 2 (левобережье Селенги в 16 км на юго-запад от г. Улан-Удэ), Ключево-1 и 2 и Засухино (долина р. Итанцы в 50 км на северо-восток от г. Улан-Удэ). Позднее на этих расчистках авторы провели детальную документацию и опробование лёссовидных отложений, погребенных почв и плиоценовых красноцветных глин в соответствии с установленными М. А. Ербаевой возрастными границами. На базе метода «Микроструктура» и программы Decompose [10, 11] впервые получена аналитическая информация о микроструктурных параметрах и количественном содержании глинистых минералов в этих отложениях. Так появился первый ключевой участок. Часть материалов в дальнейшем использована при описании процессов лёссообразования по трансекту Приангарье–Забайкалье–Западная Монголия–Северо-Западный Китай [12, 13].

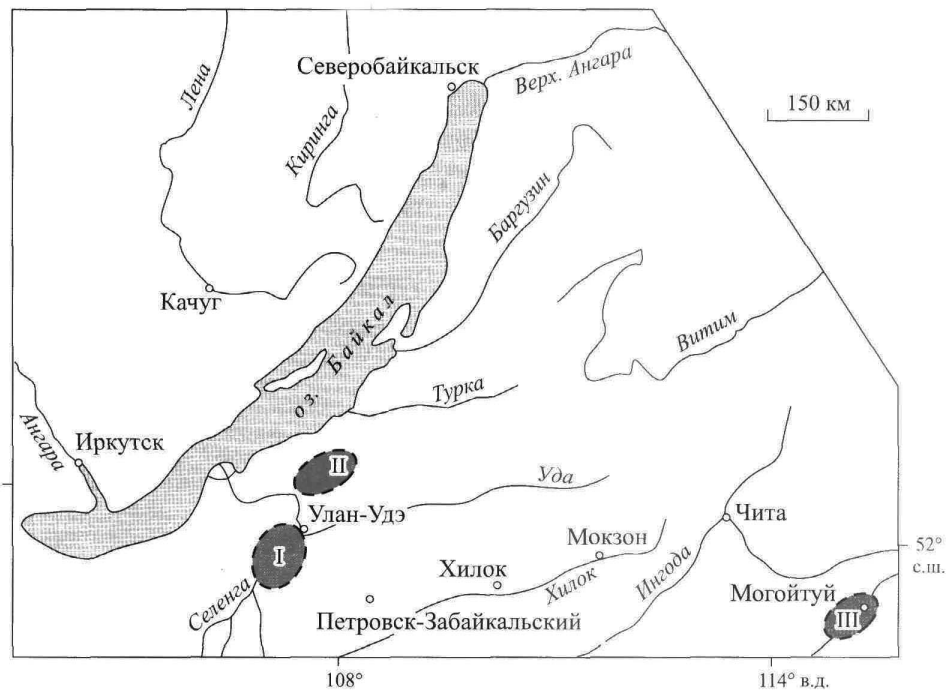


Рис. 1. Схема расположения ключевых участков исследований.

Разрезы: I — Тологой, II — Ключнево и Засухино (ключевой участок Улан-Удэ). III — территория расположения инженерно-геологических скважин в зоне будущей дополнительной застройки пос. Могойтуй (ключевой участок Могойтуй).

Второй ключевой участок расположен в районе пос. Могойтуй, где в 2007 г. проводились инженерно-геологические изыскания для расширения зоны его застройки. Могойтуй (поселок городского типа) находится в 140 км на юго-восток от г. Читы, в южной части Забайкальского края с преобладающими горно-сопочными, лесостепными и степными ландшафтами. В исследованном районе развиты породы метаморфической формации верхнего протерозоя—нижнего кембрия, на глинистом элювии которых залегают маломощные лёссовидные отложения. На пологих склонах и водоразделах пройдены инженерно-геологические скважины до 6–8 м, где вскрыты и опробованы лёссовидные супеси и суглинки мощностью 3–5 м, а также глинистый элювий сланцев; выполнены комплексные лабораторные исследования образцов.

На примере указанных ключевых участков (рис. 1) рассмотрены гипотезы формирования лёссовидных покровов Забайкалья, их микроструктуры, ассоциаций глинистых минералов и просадочности.

КЛЮЧЕВОЙ УЧАСТОК УЛАН-УДЭ

Изучались разрезы Тологой, Ключнево и Засухино; относительный возраст лёссовидных отложений и погребенных почв принимался по данным М. А. Ербаевой [14].

Разрезы Тологой-1 и -2. По геологическим данным [2], здесь выделяются три разновозрастные пачки (сверху вниз): палево-серая грубая супесь со следами криогенных деформаций (8 м); палево-серая тонкая супесь с двумя горизонтами погребенных почв (11 м); красноцветная глина с дресвой и щебнем гранитов (3 м). В 1963 г. в этом районе в пределах Иволгинской впадины была пробурена скважина глубиной 84,5 м, которая также вскрыла три пачки — гравийно-супесчаную (20 м), супесчаную и алеврито-песчаную (48 м) и песчано-галечную (16 м); ниже залежали конгломераты и брекчии мезозоя. Интересно отметить, что в работе Д. А. Базарова [3] при описании первой и второй пачек (общая мощность 19 м) супеси лёссовидными и не назывались, однако в работе [7], специально посвященной лёссовой проблеме, термины «лёсс» и «лёссовидные отложения» уже активно использовались.

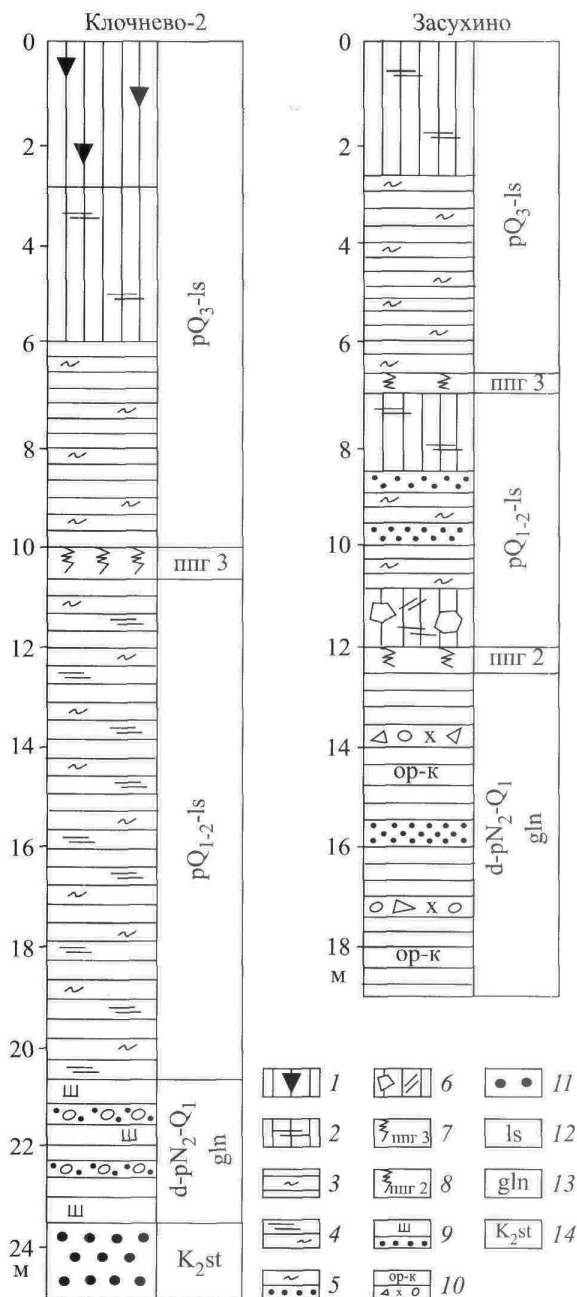
Рис. 2. Геолого-литологические колонки (разрезы Ключево-2, Засухино).

1 — лёссовидные супеси, суглинки с криогенными нарушениями; 2 — лёссовидные супеси, суглинки со слабо выраженной слоистостью; 3 — алевритовые (пылеватые) глины; 4 — алевритовые (пылеватые) глины со слабо выраженной слоистостью; 5 — алевритовые (пылеватые) глины с прослоями песка; 6 — брекчия из кусков алевритовой глины, заполнитель — лёссовидная супесь с косо и горизонтальной слоистостью; 7 — пестроокрашенный погребенный почвенный горизонт; 8 — темно-коричневый погребенный почвенный горизонт; 9 — глины шоколадные с фиолетовым оттенком, с гравийно-песчаными прослоями; 10 — глины оранжево-коричневые с прослоями гравия, щебня, гальки и песка; 11 — конгломераты; 12 — лёссовидные отложения (супеси, суглинки, алевритовые глины); 13 — глинистые отложения (глины шоколадные, оранжево-коричневые); 14 — сотниковская свита верхнего мела.

В настоящее время в опорном разрезе Тологой установлено восемь уровней мерзлотных нарушений: три уровня раннеплейстоценового возраста и пять — среднеплейстоценового [14]. Д. А. Базаровым [7] сделан вывод о том, что время первого появления многолетнемерзлых пород в Западном Забайкалье относится ко второй половине раннего плейстоцена, но не среднего, как считалось до сих пор. На рубеже плейстоцена — голоцена перигляциальная растительность сменилась березовыми лесами и, частично, степями, что связано с потеплением, произошедшим 10 тыс. л. н. [15]. Таким образом, формирование лёссовидных отложений происходило в перигляциальной обстановке, начиная с раннего плейстоцена, в условиях развития многолетней мерзлоты и ее неоднократной деградации в периоды потеплений.

Разрезы Ключево-1 и -2, Засухино. Объекты изучения расположены в пределах Итандинской впадины, в основании которой залегают делювиально-пролювиальные шоколадные глины с прослоями розовато-бурых супесей с щебнем, дресвой и гравием (d-p N₂-Q₁), перекрытые лёссовидными отложениями. По геологическим данным [6] построены геолого-литологические колонки (рис. 2). В первом случае (Ключево-2) мощность лёссовидной толщи (суглинки, супеси и алевритовые глины) составила 20,5 м, во втором (Засухино) — 12 м (супеси, суглинки со слабой горизонтальной слоистостью, алевритовые глины с песчаными прослоями, брекчия из кусков алевритовой глины с супесчаным облессованным заполнителем с косо и горизонтальной слоистостью).

В разрезах Тологой, Ключево, Засухино лёссовидные отложения, залегающие выше пестроокрашенного погребенного почвенного горизонта, отнесены к покровной и верхней пачкам (Q₃), ниже — к средней и нижней пачкам (Q₁₋₂). Возрастные критерии исследованных лёссовидных отложений получены по палеонтологическим данным, они являются относительными и не претендуют на абсолютный возраст. Тем не менее установлены три разновозрастные группы образований, для которых выявлены как общие, так и индивидуальные литологические особенности.



К числу общих особенностей следует отнести их палевый с серым оттенком цвет, агрегированность, макропористость (отмечаются разнообразные виды макропор), карбонатность, в разной степени выраженную горизонтальную слоистость. Агрегированность и макропористость, по нашему мнению, являются следствием периодически повторяющихся процессов деградации многолетней мерзлоты, формирование которой происходило в периоды восьми циклов похолоданий, начиная с раннего плейстоцена.

В разрезе Тологой-2 описаны и опробованы первый (нижний, около миллиона лет) и второй (средний, около 800 тыс. лет) погребенные почвенные горизонты, в Засухино — верхний (около 400 тыс. лет), представленный легким гумусированным суглинком. Формирование почвенных горизонтов в лёссовой толще связано с потеплением климата; преобладают каштановые почвы, которые формируются в зоне сухих степей в условиях неустойчивого увлажнения. Мощность погребенных почв составляет 0,3–1 м.

Для плиоценовых глин — регионального субстрата лёссовой толщи кроме характерного красновато-коричневого цвета, комковато-плитчатой структуры и сцементированных дресвы и гравия отмечаются пылеватость, макропористость (недоразвитые формы макропор, а также рытвины и каверны) и карбонатность, т. е. лёссовые признаки. Можно предположить, что глины приобрели эти признаки в результате криогенных воздействий в периоды похолоданий плейстоцена. Аналогичные процессы происходили в межгорных впадинах Западной Монголии и Северо-Западном Китае [16, 10].

Микроструктурные параметры отложений определялись по методу «Микроструктура», основанному на результатах их гранулометрического анализа, который выполнялся пипеточным методом с тремя способами подготовки образца. Далее проводились специальные расчеты [11]. Результаты определения микроструктурных показателей 25 образцов позволили выделить следующие критерии различия объектов (табл. 1).

Верхнеплейстоценовые лёссовидные отложения (III) максимально агрегированы, в них резко сокращается содержание тонко-мелкопесчаного материала (он первичен, в составе агрегатов отсутствует) и увеличивается количество крупнопылеватого, возрастает реальная глинистость. Среднеплейстоценовые (II) и нижнеплейстоценовые (I) образования имеют агрегированно-скелетную микроструктуру, в них увеличивается количество первичного тонко-мелкопесчаного материала за счет сокращения крупнопылеватого, снижается реальная глинистость.

К числу общих особенностей относятся тип структурной модели (тонко-мелкопесчаный смешанный), очень небольшое содержание тонкоглинистой (<0,001 мм) фракции (5–9 %) с относительно повышенным коэффициентом свободы (26–37 %). Погребенные почвы (IV) и плиоценовые глины (V) не имеют существенных отличий от лёссовидных отложений.

Таблица 1

Параметры микроструктуры разновозрастных лёссовидных отложений (I–III), погребенных почв (IV) и плиоценовых глин (V)

Объект (кол-во образцов)	Индекс	A	Тип		M ^{2A}	F ²	M ^{3A}	F ³	M ^{6A}	F ⁶	M ⁸
			микро- структуры	структурной модели							
I (3)	Q ₁	18	аг-ск	X ²⁵⁴ G ²⁷⁷	42	100	28	84	7	26	10
II (9)	Q ₂	24	аг-ск	X ²⁵⁰ G ²⁷⁶	36	100	23	82	5	37	11
III (4)	Q ₃	26	ск-аг	X ²⁵⁰ G ²⁵⁶	21	100	43	83	9	36	16
IV (4)	ппг	20	аг-ск	X ²⁴⁵ G ²⁷⁹	28	100	43	84	6	32	10
V (5)	N ₂	21	аг-ск	X ²⁴³ G ²⁵⁵	21	100	34	98	10	27	17

Примечание. ппг — каштановые погребенные почвы всех горизонтов; здесь и в табл. 3: A — общее количество агрегатов, %; аг-ск — агрегированно-скелетная микроструктура, ск-аг — скелетно-агрегированная. Тип отложений (тонко-мелкопесчаный смешанный): X² — содержание тонко-мелкопесчаных структурных элементов (агрегатов и первичных частиц); G² — коэффициент элементарности, показывающий долю первичных частиц в общей сумме структурных элементов, %; M^{2A} — общее содержание (свободных и в агрегатах) тонко-мелкопесчаных частиц (0,25–0,05 мм); M^{3A} — то же, крупнопылеватых (0,05–0,01 мм); M^{6A} — то же, тонкоглинистых (<0,001 мм), %; F², F³, F⁶ — коэффициенты свободы тонко-мелкопесчаных, крупнопылеватых и тонкоглинистых фракций, %; M⁸ — реальная глинистость объектов (содержание фракции <0,002 мм в свободном состоянии и в агрегатах), %.

Результаты расчета содержания глинистых минералов и данные PCA фракции < 0,001 мм разновозрастных лёссовидных отложений (ls) и плиоценовой глины (gln)

Номер образца — глубина, м	Глинистые минералы, %	Σ	ε _{sw}
T5–2,0 pQ ₃ -ls	K40 Гс ₃ 32 X26 [X ₁ 14 X ₂ 12] (10) PCA: Гс (разбухающая), К, X; сл. С	98	5,6
8E–2,5 pQ ₂ -ls	K44 C37 [C ₈ 24 C ₅ 13] X ₁ 13 Гс ₃ 5 (18) PCA: Гс, К, X, С	99	12,2
16E–1,2 pQ ₂ -ls	Гс ₃ 55 K29 X16 [X ₁ 13 X ₂ 3] (10) PCA: Гс (разбухающая), К, X; сл. С	100	1,2
17E–3,2 pQ ₂ -ls	Гс ₃ 47 K34 X18 [X ₁ 12 X ₂ 6] (10) PCA: Гс, X., К; сл. С	99	3,3
4E–0,8 pQ ₁ -ls	Гс66 [Гс ₃ 54 Гс ₅ 12] K17 X ₁ 14 (10) PCA: Гс, X, К; С?	97	2,3
15E–2,2 lN ₂ -gln	K40 Гс ₃ 34 X26 [X ₁ 14 X ₂ 12] (10) PCA: Гс, К, X; сл. С	100	1,2

Примечание. К — каолинит; Гс — гидрослюда (Гс₃ — обогащенная железом, Гс₅ — калием и магнием), X — хлорит (X₁ — обогащенный магнием, X₂ — железом), С — смектит (С₈ — обогащенный железом, С₅ — оксидом кремния). В скобках указано количество эталонных минералов, участвующих в расчете; Σ — сумма глинистых минералов, %; ε_{sw} — набухание отложений, %.

Впервые проведен расчет содержания глинистых минералов (фракция <0,001 мм) по программе Decompose для пяти образцов разновозрастных лёссовидных отложений и плиоценовой глины с использованием данных фазового рентгеноструктурного анализа (PCA) (табл. 2). Для лёссовидных отложений, независимо от их возраста, установлена каолинит (17–34 %)-гидрослюдистая (32–66 %) ассоциация фракции, в которой всегда присутствует хлорит (14–26 %). Смектита практически нет, о чем свидетельствует величина относительного набухания породы (1,2–3,3 %). Только в одном образце (8E–2,5) рентгеноструктурный анализ (PCA) зафиксировал смектит, поэтому расчет был проведен с использованием всех 18 эталонных разновидностей. В результате выявлено 37 % этого минерала, что свидетельствует о высокой степени набухания образца (12,2 %). В плиоценовой глине состав минеральных ассоциаций глинистых минералов аналогичен, однако увеличивается содержание каолинита: лёссовидные отложения формировались в условиях холодного аридного климата (господствуют гидрослюды), плиоценовые озерные глины — в жарких аридных условиях, способствующих накоплению каолинита.

Гипотезы формирования лёссовидных отложений. Известно, что по данным палеомагнитных исследований выделяется три механизма различий между лёссовыми отложениями и погребенными почвами [17]. Китайский педогенный механизм предполагает обогащение (по сравнению с лёссами) погребенных почв пылевато-глинистой магнитной фракцией, образовавшейся в процессе педогенеза. Аляскинский ветровой механизм, характерный для Средней Сибири, наоборот, определяет повышенные значения магнитной восприимчивости (за счет песчано-пылеватых фракций) в лёссовых толщах по сравнению с погребенными почвами, что обусловлено вариациями скорости транспортировки и осаждения лёссового материала в результате изменения интенсивности ветра в различные климатические периоды (эоловые процессы действуют постоянно).

В Западной Сибири лёссы и погребенные почвы по величине магнитной восприимчивости существенно не различаются. Реже встречаются разрезы смешанного типа, тяготеющие к аляскинской (ветровой) или китайской (педогенной) моделям. Не располагая в настоящее время данными палеомагнитных исследований, мы попытались рассмотреть возможность применения описанных механизмов на основе впервые полученных материалов по минералогии глинистых фракций и параметрам микроструктуры отложений с использованием имеющихся геолого-литологических данных.

Таким образом, для исследованных циклично построенных лёссовых разрезов (первый участок) не подходят китайская и аляскинская модели. Нельзя говорить и о комбинированной модели, предложенной нами для лёссовых толщ Приангарья, когда на стадии седиментогенеза на общем фоне делю-

виальных процессов отдельные элементарные слои имели эоловое происхождение [18]. Предлагаем западносибирскую модель, согласно которой погребенные почвы по геолого-литологическим и микроструктурным признакам почти не отличаются от лёссовидных отложений, где они формируются в эпоху климатического потепления и увлажнения.

В целом почвенно-лёссовая серия Забайкалья достаточно однотипна: отложения обогащены первичным (свободным) тонко-мелкопесчаным материалом, отмечается незначительное содержание тонкоглинистой фракции, имеются включения дресвы, гравия, темноцветных минералов, прослеживается тонкая слоистость, состав глинистых минералов наследуется от регионального субстрата (гидрослюда, каолинит, хлорит). Перечисленные признаки, в том числе и условия залегания в пределах Иволгинской и Итанцинской впадин (лёссовидные отложения слагают древние увалы, но не террасы), свидетельствуют в пользу пролювиального генезиса исследованных толщ. Эоловые добавки в лёссовидных толщах Забайкалья отсутствуют, так как они по своим геолого-литологическим признакам отличаются от покровных лёссовидных отложений (мощность 10–20 м) надпойменных террас Ангары и ее придолинных склонов, для которых предложена комбинированная гипотеза [16, 18].

Далее рассмотрим гипотезы формирования просадочности и агрегатов. В работе В. Т. Трофимова [19] в виде таблицы систематизированы существующие представления о механизме формирования просадочности лёссовых пород: выделены классы, группы и виды, указаны авторы гипотез и генетические типы пылеватых отложений, в которых эти механизмы реализуются. Для пролювиального типа предложена дегидрационно-недоуплотнительная гипотеза Н. Я. Денисова [20], но в то же время к этому генетическому типу, кроме аллювиального и эолового, подходят все остальные гипотезы.

Мы придерживаемся разуплотнительной криоэпигенетической и криосингенетической сублимационной гипотезы А. В. Минервина, согласно которой отложения любого генезиса эпигенетически или сингенетически промерзают, а затем оттаивают. Пролувиальный способ транспортировки обуславливает разнородный состав отложений — от крупнопылеватой основы до тонко-мелкопесчаного материала. Тонкоглинистые и мелкопылеватые частицы вовлекаются в процесс агрегатообразования при деградации многолетней мерзлоты в лёссовой толще с погребенными почвами и ее региональном субстрате (плиоценовой глине). Результат этих процессов — типы микроструктуры (агрегированно-скелетная и скелетно-агрегированная) и структурной модели отложений (тонко-мелкопесчаная смешанная). Следовательно, агрегаты в лёссовидных породах Забайкалья имеют вторичную природу, т. е. являются эпигенетическими. Макропористая структура этих пород (недоразвитые макропоры, «каверны» и «раздвижные колодцы»), как указывалось выше, также связана с криогенными воздействиями (развитие многолетней мерзлоты и ее неоднократная деградация).

По лабораторным данным, коэффициент относительной просадочности отложений (ϵ_{sl}) при вертикальном давлении 0,1–0,3 МПа составляет 0,010–0,110 [7]. Это свойство также проявляется в условиях природного давления ($\epsilon_{sl} = 0,012–0,028$). Наличие вторичных тонко-мелкопесчаных агрегатов и первичных частиц того же размера, отсутствие смектита среди глинистых минералов и, как следствие, очень слабое набухание супесей и суглинков, их разуплотненность (криогенные воздействия) и низкая природная влажность (8–10 %) способствуют просадочности разновозрастных пролювиальных лёссовидных отложений Забайкалья. Ведущим фактором следует считать современный аридный континентальный климат, который определяет пониженную природную влажность пород.

Итак, лёссовидные отложения Забайкалья относятся к пролювиальному разновозрастному комплексу, и для них больше подходит западносибирская модель (отсутствуют различия между погребенными почвами и лёссовидными супесями и суглинками, однотипны ассоциации глинистых минералов, связанные с региональным субстратом). Эоловый фактор на стадии седиментогенеза, видимо, не принимал участия в накоплении осадков; формирование микроструктуры и просадочности отложений происходило, вероятнее всего, по сценарию разуплотнительной криоэпигенетической и криосингенетической сублимационной гипотезы А. В. Минервина.

Располагая коллекционными образцами эоловых лёссов, мы сопоставили два разновозрастных объекта — французский лёсс из района г. Страсбурга (vQ_3) и забайкальскую лёссовидную супесь из разреза Засухино (pQ_3). Установлены различия по микроструктуре (табл. 3) и структуроформирующим компонентам: в лёссах микроструктура агрегированно-скелетная, в лёссовидных супесях — скелетно-агрегированная, тип структурной модели крупнопылеватый элементарный, в супесях тонко-мелкопесчаный смешанный; структурные связи определяются карбонатами кальциевого состава, в супесях — глинистой составляющей, кальциевыми и железистыми карбонатами. Состав глинистых минералов оказался практически одинаковым: установлена хлорит (24–26 %)-гидрослюди (32–35 %)-каолинистая (40–41 %) ассоциация; общая особенность — отсутствие смектита.

Параметры микроструктуры забайкальской пролювиальной лёссовидной супеси (Т5–рQ₃) и французского эолового лёсса (К40–vQ₃)

Образец	А	Тип		M ^{2A}	M ^{3A}	F ³	M ^{4A}	F ⁴	M ⁸
		микро-структуры	структурной модели отложений						
Т5	34,6	ск-аг	X ² 50 G ² 33	16,5	38,6	81	15,5	19	19,9
К40	14,2	аг-ск	X ³ 70 G ³ 100	8,3	71,3	98	8,8	32	9,8

Примечание. M^{4A} — общее содержание (свободных и в агрегатах) мелкопылеватых (0,01–0,002 мм) частиц, %; F⁴ — их коэффициент свободы, %. Тип структурной модели отложений (крупнопылеватый элементарный): X³ — содержание крупнопылеватых структурных элементов (агрегатов и первичных частиц), %; G³ — коэффициент элементарности, показывающий долю первичных частиц в общей сумме структурных элементов, %.

Можно предположить, что тонко-мелкопесчаные агрегаты в лёссе принесены ветром вместе с крупнопылеватыми частицами. Состоят они, судя по коэффициентам свободы, из мелкопылеватых и тонкоглинистых фракций; структурная модель крупнопылеватая элементарная (среди структурных элементов преобладает первичная крупная пыль, агрегаты играют второстепенную роль, они сингенетичны).

Пролювиальный способ транспортировки определил разнородный состав отложений и привнес в пылеватую основу песчаный и глинистый материал, затем тонкоглинистые и мелкопылеватые частицы были вовлечены в процесс агрегатообразования (в результате действия криогенных процессов). Таким образом, структурная модель отложений оказалась тонко-мелкопесчаной смешанной: структурные элементы представлены агрегатами и первичными частицами тонко-мелкопесчаной размерности; агрегаты вторичны, их роль значительна.

КЛЮЧЕВОЙ УЧАСТОК МОГОЙТУЙ

Изучались лёссовидные отложения, которые выделены нами по визуальным признакам, а по условиям залегания они отнесены к делювиальному современному комплексу (dQ₄–ls). В качестве примера приведем описание разреза одной из инженерно-геологических скважин, расположенной в восточной части участка на склоне распада: суглинок характерного палевого цвета (в воздушно-сухом состоянии), иногда с зеленоватым или розоватым оттенком, пылеватый, с включениями дресвы и щебенки (это «палочки» сланцев и мелкие обломки песчаника), легко ломается, на поверхности излома недоразвитые макропоры, отмечена бурная реакция с соляной кислотой (0–3,5 м); суглинок темно-коричневый, почти черный, вязкий (во влажном состоянии), скорлуповато-плитчатой структуры, в воздушно-сухом состоянии ломается с большим трудом, на поверхности излома видны макропоры-«рытвины», с включениями дресвы и щебенки (зеленоватые «палочки» сланцев), цементированными в суглинистую массу (3,5–6,5 м). Верхняя часть разреза лёссовидного облика относится к делювиальному современному комплексу (dQ₄–ls), нижняя представляет собой элювиальную зону метаморфических сланцев (e/сланцы–gln).

Аналогичные разрезы вскрыты другими скважинами, в которых мощность лёссового покрова 3,5–5 м. Они расположены на пологих склонах водоразделов или распадков, причем здесь же зафиксированы небольшие овраги — постоянные эрозионные спутники территорий распространения покровных лёссовидных отложений.

Установлено, что супеси и суглинки имеют агрегированно-скелетную микроструктуру, тип структурной модели — тонко-мелкопесчаный смешанный или элементарный [(X²47 G²77 (60–93)]; реальная глинистость в среднем составляет 24 %; агрегаты состоят в основном из тонкоглинистых (<0,001 мм) частиц (F⁶ = 5–20 %). В нижележащем глинистом элювии сланцев зафиксированы следующие отличия: микроструктура скелетно-агрегированная, тип структурной модели крупнопылеватый смешанный (X³38 G³67), кроме того отмечается повышенная реальная глинистость (в среднем 33 %).

Впервые рассчитано содержание глинистых минералов. Для лёссовидных отложений установлена каолинит (12–44 %)-гидрослюдистая (39–88 %) ассоциация с небольшой примесью хлорита (до 5–8 %) и смектита (до 5–15 %), в элювии отмечается тот же состав минералов. Следовательно, имеет место

унаследованность лёссовым покровом глинистой составляющей субстрата: наблюдается господство гидрослюды, смектит представляет собой второстепенную примесь, что подтверждается незначительным набуханием отложений (0,7–3,2 %).

Проведенные в лаборатории компрессионно-просадочные испытания образцов лёссовидных супесей и суглинков показали, что они проявляют просадочные свойства ($\epsilon_{sl} = 0,011$ при давлении 0,2 МПа), чему способствуют агрегированно-скелетный тип микроструктуры, тонко-мелкопесчаный смешанный или элементарный тип структурной модели, пониженные плотность скелета (1,64–1,65 г/см³) и степень влажности (0,38–0,48).

Можно предположить, что формирование маломощных, островного залегания делювиальных лёссовидных отложений в Забайкалье, их микроструктуры и просадочности происходило согласно криоэлювиально-дегидратационно-разуплотнительной гипотезе Е. М. Сергеева и А. В. Минервина [19]. Здесь не было многолетней мерзлоты и этапов ее деградации, а действовали процессы сезонного промерзания и оттаивания в условиях современного аридного континентального климата, которые приводили к разуплотнению пылеватых покровов, формированию эпигенетических агрегатов и просадочности того же типа.

Таким образом, эти отложения — аналоги монгольских делювиальных покровов [11]. Лёссовидные циклично построенные толщи (с погребенными почвами) первого ключевого участка можно считать аналогом приангарских мощных лёссовидных толщ (только в Приангарье действует комбинированная гипотеза их формирования), далее вступает в действие та же разуплотнительная криоэпигенетическая и криосингенетическая сублимационная гипотеза А. В. Минервина. Но поскольку в Приангарье иной современный климат (умеренный гумидный континентальный), а состав глинистых минералов лёссовидных отложений находится под влиянием геологических формаций, то они характеризуются гетерогенностью типов микроструктуры, минеральных ассоциаций фракции <0,001 мм и просадочности.

ВЫВОДЫ

Полученные результаты сопоставления параметров микроструктуры и содержания различных глинистых минералов разновозрастных лёссовидных отложений, погребенных почв и плиоценовой глины ключевого участка Улан-Удэ показали возможность использования гипотезы западносибирского механизма формирования указанных элементов разреза, которая не предполагает их существенных различий.

Установлено, что формирование агрегатов и просадочности в пролювиальных лёссовидных отложениях с горизонтами погребенных почв происходит в соответствии с разуплотнительной криоэпигенетической и криосингенетической сублимационной гипотезой А. В. Минервина, при этом проявлению просадочности способствует современный холодный аридный континентальный климат.

Результаты исследования показывают, что лёссовидные толщи участка Улан-Удэ сопоставимы с аналогичными отложениями Приангарья, но для них неприменима комбинированная гипотеза, которая предполагает периодическое участие эолового фактора на стадии седиментогенеза.

Для лёссовидных отложений современного делювиального комплекса участка Могойтуй характерна монгольская модель: их формирование происходит по криоэлювиально-дегидратационно-разуплотнительной гипотезе Е. М. Сергеева и А. В. Минервина, согласно которой в условиях современного холодного аридного континентального климата процессы сезонного промерзания—оттаивания приводят к разуплотнению полигенетических пылеватых покровов, формированию эпигенетических агрегатов и просадочности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Равский Э. И., Александрова С. П., Вангенгейм Э. А. и др. Антропогеновые отложения юга Восточной Сибири // Труды ГИН АН СССР. — 1964. — Вып. 105. — 280 с.
2. Иванов А. Д. Эоловые пески Западного Забайкалья и Прибайкалья. — Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1966. — 227 с.
3. Базаров Д. Б. Четвертичные отложения и основные этапы развития рельефа Селенгинского Среднегорья. — Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1968. — 165 с.
4. Базаров Д. Б. Кайнозой Прибайкалья и Западного Забайкалья. — Новосибирск: Наука, 1986. — 180 с.
5. Равский Э. И. Осадконакопление и климаты Внутренней Азии в антропогене. — М.: Наука, 1972. — 336 с.

6. Базаров Д. Б., Ербаева М. А., Резанов И. Н. Геология и фауна опорных разрезов антропогена Западного Забайкалья. — М.: Наука, 1976. — 148 с.
7. Базаров Д. Б., Резанов И. Н., Наумов А. В. О лёссах и лёссовидных отложениях Селенгинского Среднегорья и Юго-Восточного Прибайкалья // Геология, магматизм и полезные ископаемые Забайкалья: Труды Геол. ин-та Бурят. филиала СО АН СССР. — Улан-Удэ, 1974. — Вып. 5 (13). — С. 115–126.
8. Портнова В. П. Инженерно-геологические условия Центрального и Восточного Забайкалья. — М.: Недра, 1976. — 232 с.
9. Jefferson I. F., Evstatiev D., Karastanev D. et al. Engineering geology of loess and loess-like deposits: a commentary on Russian literature // Engineer. Geol. — 2003. — № 68. — P. 333–351.
10. Рященко Т. Г., Акулова В. В., Соколов В. Н. и др. Анализ микроструктуры лёссов из района Северного лёссового плато Китая // Геоэкология. — 2000. — № 3. — С. 234–240.
11. Рященко Т. Г. Региональное грунтоведение (Восточная Сибирь). — Иркутск: Изд-во Ин-та земной коры СО РАН, 2010. — 287 с.
12. Рященко Т. Г., Акулова В. В., Ербаева М. А., Гринь Н. Н. Процессы лёссообразования в Приангарье, Забайкалье, Западной Монголии и Северо-Западном Китае (сравнительный анализ) // География и природ. ресурсы. — 2007. — № 2. — С. 105–113.
13. Ryashchenko T. G., Akulova V. V., Erbaeva M. A. Loessial soils of Priangaria, Transbaikalia, Mongolia and north-western China // Quaternary International. — 2008. — № 179. — P. 90–95.
14. Алексеева Н. В., Борисова Н. Г., Ербаева М. А. и др. Новые данные о похолодании климата в плейстоцене и этапы развития фауны мелких млекопитающих Забайкалья // Проблемы реконструкции климата и природной среды голоцена и плейстоцена Сибири. — Новосибирск: Изд-во Ин-та археологии и этнографии СО РАН, 2000. — Вып. 2. — С. 5–17.
15. Голубева Л. В., Караулова Л. П. Растительность и климатография плейстоцена и голоцена юга Дальнего Востока СССР. — М.: Наука, 1983. — 143 с.
16. Рященко Т. Г., Акулова В. В. Грунты юга Восточной Сибири и Монголии. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1998. — 156 с.
17. 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 // Геол. и геофиз. — 2003. — Т. 44, № 7. — С. 638–651.
18. Рященко Т. Г., Ухова Н. Н., Акулова В. В. Комбинированная модель формирования субаэральные лёссовых отложений Приангарья (новые комплексные данные по опорному разрезу «Новоразводная») // Изв. вузов Сибири. Сер. наук о Земле. — Иркутск: Изд-во Иркут. техн. ун-та, 2006. — Вып. 9–10. — С. 129–131.
19. Трофимов В. Т. Теория формирования просадочности лёссовых пород. — М.: ГЕОС, 2003. — 275 с.
20. Денисов Н. Я. О природе просадочных явлений в лёссовых суглинках. — М.: Сов. наука, 1946. — 176 с.

Поступила в редакцию 2 мая 2012 г.