

Научная статья
УДК 552.524:551.345
DOI: 10.18101/2542-0623-2025-4-50-58

**СОВРЕМЕННОЕ ЛЁССООБРАЗОВАНИЕ КАК ОТРАЖЕНИЕ
ЛАНДШАФТНО-КЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ ПЕРЕХОДНОЙ ЗОНЫ
В СЕЛЕНГИНСКОМ СРЕДНЕГОРЬЕ**

Д. П. Сымпилова

© Сымпилова Дарима Паламовна

кандидат географических наук, старший научный сотрудник,
Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6
darimasp@mail.ru

Аннотация. Исследование генетических особенностей лёссовых пород в условиях современной ландшафтно-геохимической среды переходной зоны Селенгинского среднегорья определяет актуальность данной работы. Ареал распространения лёссовых пород этой территории совпадает с ареалом позднеплейстоценовой криолитозоны. Криолитозона здесь имеет прерывистое, островное и спорадическое распространение, процессы выветривания протекают в слое длительно-сезоннопромерзающих грунтов. Объектом исследований послужили лёссовидные суглинки, которые формируются на водоразделах и в приводораздельных ландшафтах основных хребтов Селенгинского среднегорья. Применение морфоскопии песчаных кварцевых зерен показало, что преобладают матовые и полуокатанные зерна. Это указывает на то, что на последнем этапе своей обработки зерна находились в субаэральных (эоловых) условиях. Раковистые сколы и выбоины на зернах кварца указывают на формирование зерен в результате механического разрушения обломков коренных пород и криогенного выветривания. Лёссовидные суглинки Селенгинского среднегорья относятся к синкриогенным субаэральным отложениям, которые формируются при синхронности процессов осадконакопления и промерзания.

Ключевые слова: криогенное выветривание, лёссовидные суглинки, гранулометрический состав, морфоскопия кварцевых зерен, Селенгинское среднегорье.

Благодарности

Работа выполнена в рамках финансирования бюджетной темы FWSM-2021-0004.

Для цитирования

Сымпилова Д. П. Современное лёссообразование как отражение ландшафтно-климатических условий переходной зоны в Селенгинском среднегорье // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2025. № 4(33). С. 50–58. DOI: 10.18101/2542-0623-2025-4-50-58

Введение

Проблема генезиса лёссов как одного из самых специфичных образований четвертичного периода является объектом многолетних научных дискуссий. Основные направления этой проблемы представлены ведущей ролью эоловых процессов в формировании лёссов; лёссов, отложившихся в водной среде; и, наконец, третьим направлением, связывающий генезис лёссов с совокупностью различных

геологических и почвообразовательных процессов, происходящих в тесной взаимосвязи с географической средой (полигенетическая, или почвенно-элювиальная). Геохимическая гипотеза лёссовобразования, исследованная в трудах Б. Б. Польшина, И. П. Герасимова, К. К. Маркова, рассматривает особенности коры выветривания и почвообразования в условиях сухого континентального климата пустынь.

В настоящее время нет единой общепризнанной теории лёссовобразования. В этом процессе выделяют две составляющие — седиментационную (перенос и отложение мелкозема) и гипергенную (преимущественно сингенетическое облессование мелкозема). Основной транспортирующий агент — эоловый, проявлению которого способствовали перигляциальные условия. При формировании типичных лёссов отложенный ветром мелкозем практически оставался на месте, в отличие от лёссовидных осадков, при формировании которых мелкозем подвергался переотложению другими процессами — плоскостным смывом, русловым стоком, вследствие чего лёссовидные образования практически в большинстве случаев являются полигенетическими.

Для образования больших скоплений пылеватого материала необходимы особые ландшафтно-климатические условия, какие были в ледниковые эпохи. Далее превращение мелкозема в лёссовую породу происходило в сухие эпохи (аридный климат межледниковий и интерстадиалов). Холодный аридный климат, низкая обводненность речных систем конца плейстоцена, когда накапливался перигляциальный аллювий, были важными факторами для формирования лёссовых пород. В межледниковье богатый карбонатами ил, отложившийся на дне речных озер, под влиянием выветривания и почвообразовательных процессов давал начало лёсса [Берг, 1960].

Главным в характеристике лёссов является формирование своеобразного гранулометрического состава с накоплением фракции 0,01–0,05 мм. Были предложены гипотезы сортировки, агрегации и разрушения частиц под влиянием температурных колебаний, в том числе криогенного выветривания, эоловой и флювиальной сортировки, почвообразовательных процессов [Герасимов, 1962; Макеев, 2012].

Сформулирована концепция криогенного (криогидратационного) преобразования минерального вещества. Показано, что под воздействием многократного циклического промерзания-оттаивания в различных породах накапливаются частицы лёссовой фракции за счет разрушения более крупных (кварцевых, полевошпатовых и др.) частиц и агрегации частиц глинистого размера [Попов, 1967; Конищев, 1981; Куликов и др., 1997].

Г. Ф. Мирчинк [Гербова, 1972], как и В. А. Обручев [Обручев, 1951], главным в проблеме лёсса рассматривал не способ седиментации и последующий эпигенез осадка, а географическую обстановку, которая определяет основные свойства породы. Климат должен был быть резко континентальным, сухим, где главная роль принадлежит процессам морозного выветривания. Позже Н. И. Кригер [Кригер, 1965] также рассматривал лёсс как образование перигляциальных и аридных условий. Все эти гипотезы рассматривают лишь процесс накопления пылеватых отложений, но не отвечают на главный вопрос, как пылеватый осадок превращается в лёсс с характерным набором признаков и свойств. В соответствии с этими гипотезами пылеватые отложения могут накапливаться любым путем, а их превращение в лёсс со всеми специфическими признаками этой породы происходит

в результате почвообразования и выветривания, т. е. в тесной взаимосвязи с условиями ландшафтно-геохимической среды [Полынов, 1956; Pecsí, 1990; Sprafke, Obrecht, 2016; Smalley, Obrecht, 2018].

Генезис лёссовых отложений Западного Забайкалья освещался в трудах Е. И. Равского, В. Н. Олюнина, Д. Б. Базарова и др. Согласно Е. И. Равскому лёссовые отложения принадлежат либо формациям пролювиально-делювиально-солифлюкционному, либо овражно-делювиально-аллювиального генезиса, не исключая возможности эоловой аккумуляции [Равский, 1972]. Автор считает, что атмосферная вода принимала участие в образовании лесса, прибивая частицы эоловой пыли к земле и перемещая их вниз по склону. Далее в нижних частях склонов к чисто эоловому материалу присоединялся материал, непосредственно вымываемый потоками дождевых и снеговых вод от продуктов разрушения коренных пород. Согласно Д. Б. Базарову источником пыли являются эоловые пески, образовавшиеся за счет мощных толщ полигенетических песков кривоярской свиты, в долинах крупных транзитных рек Западного Забайкалья [Базаров и др., 1974]. Далее фракции, выдуваемые из этих песков, уносились северными и северо-западными ветрами и пыльными бурями, проникая в глубь хребтов и оседая на водоразделах. Эоловые процессы в Западном Забайкалье проявлялись повсеместно и имели глобальный характер, которые усиливались во время горных оледенений, когда создавался мощный барический градиент — причина сильнейших ветров [Тайсаев, 2007].

Цель работы — изучить генетические особенности лёссовых пород в условиях современной ландшафтно-геохимической среды переходной зоны Селенгинского среднегорья.

Объекты и методы

Ландшафты Селенгинского среднегорья в Западном Забайкалье расположены на границе южносибирских лесов и северо-монгольских степей (рис. 1). Такая переходная зона занимает экотонное положение между аридными и гумидными областями Палеарктики, где проявления природных зон сглажены и смягчены. Ведущая роль в переходных зонах принадлежит климату, который контролирует общий ход эволюции природной среды [Иметхенов, 1997].

Селенгинское среднегорье расположено в переходной климатической зоне между прохладным континентальным климатом (Dwc) и холодным полуаридным климатом (Bsk) (обновленная карта мира климатической классификации Кеппена — Гейгера) [Peel et al., 2007]. Зимой с установлением антициклональной атмосферной циркуляции происходит сильное похолодание и иссушение почв. Для межгорных впадин характерно развитие зимних температурных инверсий, где устанавливается более суровый микроклимат. Летом в котловинах воздух значительно теплее, чем на прилегающих склонах и водоразделах. Больше всего осадков выпадает летом. Малый снежный покров и низкие зимние температуры воздуха способствуют длительному сезонному промерзанию почв.

Согласно геокриологическому районированию Селенгинское среднегорье находится в Забайкальской геокриологической области южной геокриологической зоны. Криолитозона здесь имеет островное, прерывистое и спорадическое распространение и занимает до ~60% территории [Heginbottom et al., 1993;

Экологический атлас... 2015; Gonchikov et al., 2021]. Состояние мерзлых грунтов сказывается на разных стадиях осадочного процесса и обуславливает некоторые важные особенности литологического состава мелкоземистого материала. Под влиянием криогенеза в слое сезонного промерзания-протаивания протекает процесс выветривания, в результате чего возникают своеобразные криоэлювиальные образования — лёссовидные покровные суглинки [Данилов, 1983]. Условия их залегания тесно связаны с мерзлотными формами рельефа. В Селенгинском среднегорье эти формы широко представлены делювиально-солифлюкционными шлейфами, буграми и западинами водоразделов и приводораздельных позиций.



Рис. 1. Карта-схема территории исследования

Рельеф представлен среднегорной частью с высотами от 700 до 1600 м над уровнем моря. Хребты и межгорные впадины Западного Забайкалья ориентированы с запада-юго-запада на восток-северо-восток. Основные хребты представлены куполообразными формами, сглаженными денудацией.

Территория исследования сложена в основном интрузивными и эффузивными породами разного возраста. Почвообразующие породы представлены продуктами выветривания этих пород, поэтому их состав и свойства в первую очередь обусловлены литологией коренных пород.

Гранулометрический состав определялся пипеточным методом по Н. А. Качинскому [Полевые и лабораторные методы... 2001]. Для выяснения современной ландшафтно-климатической обстановки Селенгинского среднегорья был применен метод морфоскопии песчаных кварцевых зерен, разработанный в лаборатории эволюционной географии ИГ РАН под руководством доктора географических наук А. А. Величко [Величко, Тимирева, 2005]. Применение сканирующего электронного микроскопа позволяет обследовать окатанность, текстуру поверхности зерна, что характеризует условия формирования осадка и его генезис. Исследования проведены на растровом электронном микроскопе Hitachi TM 1000.

Результаты и обсуждение

Лёссовидные суглинки водораздела хр. Цаган-Дабан в Селенгинском среднегорье характеризуются высокой однородностью, мощность которых составляет на междуречьях 2–3 м, а на склонах увеличиваются до 10–15 м, залегая на высотах от 725 до 920 м на ур. м. и выше. Источником эоловой пыли являются эоловые пески, образующиеся за счет мощной толщи полигенетических песков кривоярской свиты в долинах крупных рек Западного Забайкалья. Далее фракции, выдутые из этих песков, переносятся северо-западными ветрами и пыльными бурями в глубь хребтов и осаждаются на водоразделах.

Наши исследования показали, что лёссовидные суглинки формируются на водоразделе, верхних, средних и нижних частях северного макросклона хр. Цаган-Дабан [Сымпилова и др., 2015, 2025; Сымпилова, Бадмаев, 2019; Сымпилова, 2025]. Представлены они преимущественно алевритовой породой, не слоисты, имеют темно-серый, местами желтовато-бурый цвет, легко- и среднесуглинистый гранулометрический состав. Содержание крупного и среднего песка — 0–1 %, мелкого песка — 14–57%. Лёссовая фракция 0,05–0,01 мм составляет 18–55%; фракция 0,01–0,005 мм — 2–11%; менее 0,005 мм — 4–24% (табл.).

Таблица

Гранулометрический состав лёссовых пород

Глубина, см	Содержание фракций в %, размер частиц в мм					
	1,0–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	0,01–0,005	0,005–0,001	< 0,001
Элювиальная позиция хр. Цаган-Дабан, 960 м над ур. м.						
13,5–20/25	0	21	55	9	10	5
20/25–41	0	19	54	10	11	6
41–60	0	14	43	8	11	24
60–86	0	22	42	7	9	20
> 85	0	28	46	5	11	10
Элювиальная позиция хр. Цаган-Дабан, 913 м над ур. м.						
9/11–20/23	0	20	55	8	10	7
20/23–49	0	31	42	3	11	13
49–78	1	17	45	9	11	17
78–100	1	19	51	8	9	12
Трансэлювиальная позиция северного макросклона хр. Цаган-Дабан, 904 м над ур. м.						
2–6/10	0	35	43	11	7	4
6/10–37	1	32	45	6	3	13
37–65	6	54	20	3	5	12
65–90	31	50	4	3	2	10
Трансаккумулятивная позиция северного макросклона хр. Цаган-Дабан, 720 м над ур. м.						
2–8	0	57	18	4	11	10
8–21/25	0	30	43	5	7	15
21/25–75	0	47	31	4	7	11
75–120	0	53	23	2	9	13

Лёссовидные супеси формируются в нижних частях речных долин, на террасах, в широких лощинах, оврагах, падах. Для них характерны неоднородность, пропитанность карбонатами, вертикальная столбчатость, слоистость, пористость. Часто они переслаиваются с прослоями песка и щебня — местными продуктами выветривания. Здесь преобладают две фракции: крупная пыль и мелкий песок.

В целом для лёссовых пород Селенгинского среднегорья прослеживается увеличение количества глинистых фракций на более высоких отметках. Такое явление объясняется усиленными процессами выветривания в горах, где господствует более гумидный климат.

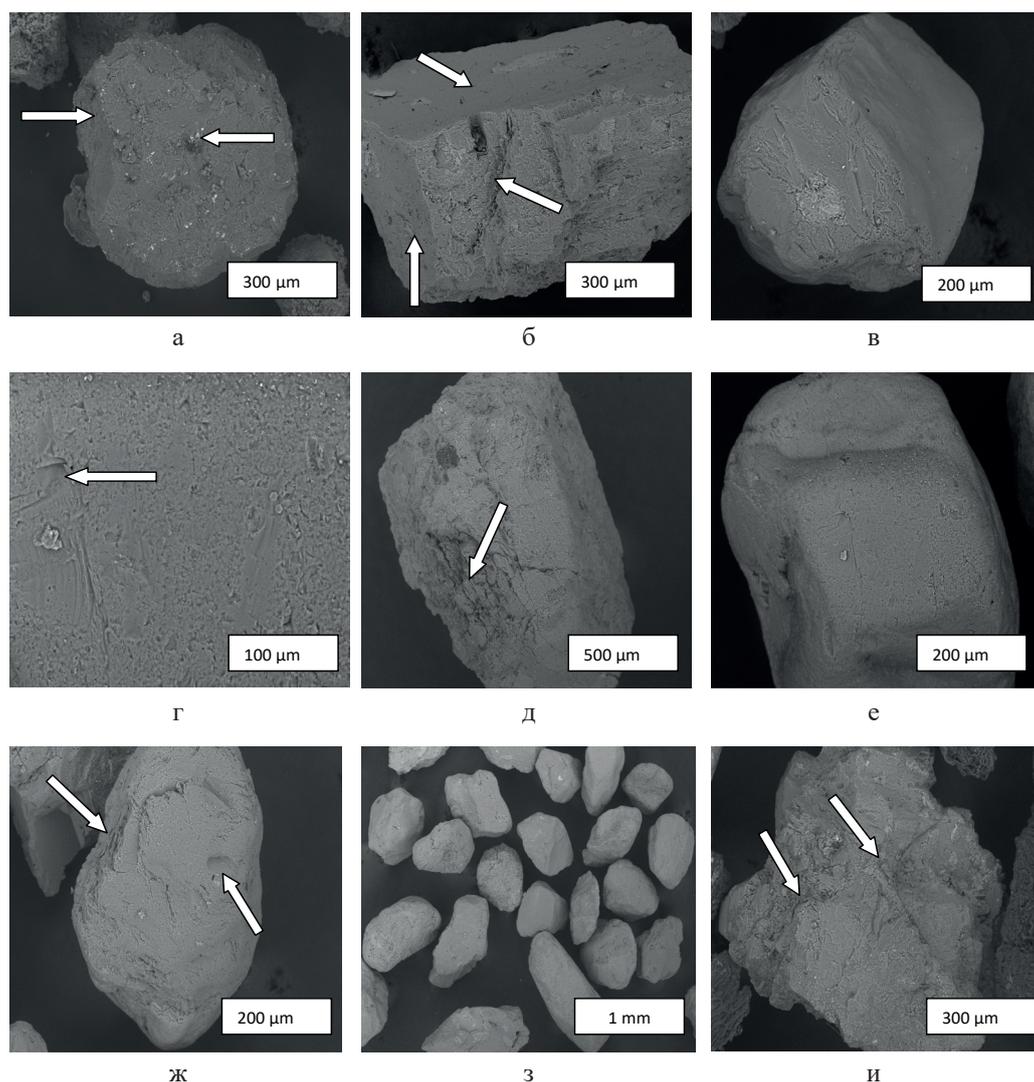


Рис. 2. Морфоскопические особенности зерен кварца (а, б — зерно со следами криогенного выветривания (выбоины, сколы, борозды); в, е — полуокатанное и заматованное зерно; г, ж — микроямчатость и V-образное углубление на поверхности зерна; д, и — зерно со следами химического выветривания, серповидный желобок; з — полуокатанные и угловатые зерна

Для реконструкции условий лёссовобразования в Селенгинском среднегорье проведено исследование образцов песчаных кварцевых зерен из лёссовых горизонтов. Для элювиальных и трансэлювиальных позиций водораздела хр. Цаган-Дабан характерно преобладание зерен полуокатанной формы с высокой степенью матовости (рис. 2в, е, з), что свидетельствует об эоловом переносе материала. На зернах прослеживается эоловая обработка поверхности — микроямчатость (рис. 2г, ж), которая возникает при сальтации и соударении песчаных зерен. В трансаккумулятивных позициях преобладают зерна как полуокатанной, так и угловатой формы (рис. 2з). Зерна с выбоинами, раковистыми сколами указывают на формирование их в условиях криогенного выветривания (рис. 2а, б). Зерна со следами химического выветривания представлены в виде следов травления (рис. 2д, и). Текстуры химического растворения свидетельствуют о длительности и интенсивности процессов химического выветривания.

Заключение

Лёссовидные суглинки Селенгинского среднегорья формируются в условиях криогенеза, где процессы выветривания протекают в слое длительно-сезоннопромерзающих грунтов. По составу и свойствам они близки к лессам, в них преобладают пылеватые частицы, высокая макропористость. Характеризуются легко- и среднесуглинистым гранулометрическим составом с преобладанием крупной пыли и мелкого песка, имеют однородное строение, желтовато-бурую окраску.

Морфоскопический анализ песчаных кварцевых зерен выявил особенности генезиса лёссовидных суглинков на исследованной территории. Наблюдается преобладание полуокатанных зерен с высокой степенью матовости. На зернах прослеживается эоловая обработка поверхности — микроямчатость, которая возникает при сальтации и соударении песчаных зерен. Зерна с раковистым сколом и выбоинами указывают на формирование их в условиях криогенного выветривания.

Таким образом, форма кварцевых зерен показывает, что современное осадконакопление в Селенгинском среднегорье происходит при участии криогенных процессов. Основным источником поступления материала служат аллювиальные отложения р. Селенги и ее крупных притоков с последующим субаэральным переносом.

Литература

1. 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 БурФ СО АН СССР. Улан-Удэ, 1974. Вып. 5 (13). С. 115–126. Текст : непосредственный.
2. Берг Л. С. Лесс как продукт выветривания и почвообразования / Избранные труды. Москва : Изд-во АН СССР, 1960. Т. 3. С. 374–526. Текст : непосредственный.
3. Величко А. А., Тимирева С. Н. Проблема генезиса лёссового материала по данным изучения морфоскопии песчаных кварцевых зерен // Многоликая география (развитие идей И. П. Герасимова). Москва : Товарищество научных изданий КМК, 2005. С. 76–89. Текст : непосредственный.
4. Герасимов И. П. Лёссовобразование и почвообразование // Известия АН СССР. Серия географическая. 1962. № 2. С. 3–9. Текст : непосредственный.

5. Гербова В. Г. Г. Ф. Мирчинк о генезисе и стратиграфии лёссов // Бюллетень комиссии по изучению четвертичного периода. 1972. № 38. С. 5–15. Текст : непосредственный.
6. Данилов И. Д. Криолитозона Земли и ее районирование // Известия АН СССР. Серия географическая. 1983. № 1. С. 12–18. Текст : непосредственный.
7. Иметхенов А. Б. Природа переходной зоны (на примере Байкальского региона). Новосибирск : Изд-во СО РАН, 1997. 231 с. Текст : непосредственный.
8. Конищев В. Н. Закономерности формирования состава пород в криолитозоне. Новосибирск : Наука, 1981. 218 с. Текст : непосредственный.
9. Кригер Н. И. Лесс, его свойства и связь с географической средой. Москва : Наука, 1965. 296 с. Текст : непосредственный.
10. Куликов А. И., Дугаров В. И., Корсунов В. М. Мерзлотные почвы: экология, теплоэнергетика и прогноз продуктивности. Улан-Удэ : БНЦ СО РАН, 1997. 312 с. Текст : непосредственный.
11. Макеев А. О. Поверхностные палеопочвы лёссовых водоразделов Русской равнины. Москва : Молнет, 2012. 260 с. Текст : непосредственный.
12. Обручев В. А. Лесс как особый вид почвы, его генезис и задачи его изучения // Избранные труды по географии Азии. Москва : Географгиз, 1951. Т. 3. С. 197–242. Текст : непосредственный.
13. Особенности почвообразования на лёссовых породах северного макросклона хр. Цаган-Дабан Западного Забайкалья / Д. П. Сымпилова, А. Б. Гынинова, А. И. Куликов [и др.] // Известия РАН. Серия географическая. 2015. № 1. С. 98–110. Текст : непосредственный.
14. Полевые и лабораторные методы исследования физических свойств и режимов почв / под редакцией Е. В. Шеина. Москва : Изд-во МГУ, 2001. 208 с. Текст : непосредственный.
15. Польшов Б. Б. Кора выветривания // Избранные работы. Москва : Изд-во АН СССР, 1956. С. 256–283. Текст : непосредственный.
16. Попов А. И. Лёссовые и лёссовидные породы как продукт криолитогенеза // Вестник МГУ. Серия географическая. 1967. № 6. С. 43–48. Текст : непосредственный.
17. Равский Э. И. Осадконакопление и климаты Внутренней Азии в антропогене. Москва : Наука, 1972. 336 с. Текст : непосредственный.
18. Сымпилова Д. П. *Cryosols* в сезонномерзлотных ландшафтах Селенгинского среднегорья // Природа Внутренней Азии. 2025. № 1(30). С. 64–72. Текст : непосредственный.
19. Сымпилова Д. П., Бадмаев Н. Б. Почвообразование в ландшафтах контакта тайги и степи Селенгинского среднегорья (Западное Забайкалье) // Почвоведение. 2019. № 2. С. 140–151. Текст : непосредственный.
20. Сымпилова Д. П., Гынинова А. Б., Шахматова А. Б. Почвы на лёссовидных суглинках в сезонномерзлотных ландшафтах Селенгинского среднегорья (Западное Забайкалье) // Природные ресурсы Арктики и Субарктики. 2025. № 1(30). С. 109–118. Текст : непосредственный.
21. Тайсаев Т. Т. Явление криобиогенеза и геохимическая самоорганизация мерзлотных ландшафтов // Вестник РАЕН. 2007. № 2. С. 14–21. Текст : непосредственный.
22. Экологический атлас бассейна озера Байкал / под редакцией В. М. Плюснина. Иркутск : Институт географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2015. 146 с. Текст : непосредственный.
23. Heginbottom J. A., Brown J., Melnikov E. S. et al. Circumarctic Map of Permafrost and Ground Ice Conditions. Proc. *Sixth International Conference on Permafrost*. South China University of Technology Press, 1993, vol. 2, pp. 1132–1136.
24. Gonchikov B.-M. N., Badmaev N. B., Bazarov A. V. et al. Dynamics of Changes in Thawing and Freezing Depth in Soils of Western Transbaikalia in Different Types of Permafrost Distribution. Proc. *IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science*. 2021, vol. 908.

25. Pecsí M. Loess is Not Just the Accumulation of Dust. *Quaternary International*. 1990; 7/8: 1–21.
26. Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A. Updated World Map of the Köppen-Geiger Climate Classification. *Hydrology and Earth System Sciences*. 2007; 11: 1633–1644.
27. Smalley I., Obreht I. The Formation of Loess Ground by the Process of Loessification: A History of the Concept. *Geologos*. 2018; 24(2): 163–170.
28. Sprafke T., Obreht I. Loess: Rock, Sediment or Soil — What is Missing for Its Definition? *Quaternary International*. 2016; 399: 198–207.

Статья поступила в редакцию 08.10.2025; одобрена после рецензирования 12.11.2025; принята к публикации 10.12.2025.

MODERN LOESS FORMATION AS A REFLECTION
OF THE LANDSCAPE AND CLIMATIC CONDITIONS
IN THE SELENGA MIDDLE MOUNTAIN TRANSITION ZONE

D. P. Sympilova

Darima P. Sympilova

Cand. Sci. (Geogr.), Senior Researcher,
Institute of General and Experimental Biology SB RAS
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia
darimasp@mail.ru

Abstract. The relevance of the study lies in studying the genetic characteristics of loess sediments in the modern landscape and geochemical environment of the Selenga Middle Mountain transition zone. The distribution area of the loess sediments in this area coincides with that of the late Pleistocene permafrost zone. The permafrost zone here has a discontinuous and sporadic distribution with weathering processes occurring in a layer of long-term seasonally frozen soils. The object of the study is loess-like loams that are formed on watersheds and in landscapes adjacent to watersheds of the main ridges of the Selenga Middle Mountains. Sandy quartz grains morphoscopy revealed that matte and semi-rounded grains predominate. This indicates that during the final stage of their processing, the grains were exposed to subaerial (eolian) conditions. Conchoidal spalls and pits on quartz grains indicate that they were formed as a result of mechanical destruction of bedrock fragments and cryogenic weathering. Loess-like loams of the Selenga Middle Mountains are classified as syncryogenic subaerial sediments formed in the synchronicity of sedimentation and soil freezing processes.

Keywords: cryogenic weathering, loess-like loams, particle size distribution, quartz grain morphology, the Selenga Middle Mountains.

Acknowledgments

The study was funded by the budget topic FWSM-2021-0004.

For citation

Sympilova D. P. Modern Loess Formation as a Reflection of the Landscape and Climatic Conditions in the Selenga Middle Mountain Transition Zone. *Nature of Inner Asia*. 2025; 4(33): 50–58 (In Russ.). DOI: 10.18101/2542-0623-2025-4-50-58

The article was submitted 08.10.2025; approved after reviewing 12.11.2025; accepted for publication 10.12.2025.