

Научная статья

УДК 631.48

DOI: 10.18101/2542-0623-2025-4-59-67

ПИРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ЛИТОЗЕМОВ В ЛЕСОСТЕПИ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Е. Ю. Шахматова

© Шахматова Екатерина Юрьевна

кандидат биологических наук, научный сотрудник,

Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН

Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6

ekashakhmat@mail.ru

Аннотация. В статье представлены свойства литоземов серогумусовых, широко распространенных в лесостепной зоне Западного Забайкалья под сосновыми лесами и их производными. Влияние низовых пожаров средней интенсивности вызвало формирование пирогенных органогенных горизонтов, обогащенных остатками древесных углей различного размера. Установлено, что спустя один год после пожара почва характеризовалась уплотнением верхней части профиля, уменьшением объема порового пространства, низкой водопроницаемостью, относительно высокими показателями содержания илстой фракции в гранулометрическом составе по отношению к почвам на старых гарях. По физико-химическим свойствам на однолетней гари наблюдаются уменьшение углерода органического вещества в гумусовом горизонте и кратковременное увеличение содержания питательных элементов и CO_2 карбонатов, которые в дальнейшем снижались. Эти потери, связанные с поглощением веществ корнями растительности нижних ярусов, с их миграцией вниз по профилю почвы, а также с активно выраженными в послепожарный период процессами денудации на горных склонах, негативно влияют на возобновление древесной растительности на гарях.

Ключевые слова: Западное Забайкалье, лесостепные сосновые и производные леса, литоземы, пирогенная трансформация почв, лесовозобновление.

Благодарности

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

Для цитирования

Шахматова Е. Ю. Пирогенная трансформация литоземов в лесостепи Западного Забайкалья // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2025. № 4(33). С. 59–67. DOI: 10.18101/2542-0623-2025-4-59-67

Введение

Лесные пожары являются экологическим фактором динамики и функционирования экосистем [Влияние природных пожаров... 2011; Chandra, Bhardwaj, 2015]. В зависимости от силы и частоты в горных лесах они могут служить источником деградации почвенного покрова в результате нарушения верхнего органического слоя, смыва мелкозема и выноса многих биогенных элементов [Краснощеков,

2022; Badia, Marti, 2008; Carroll et al., 2007; Neary et al., 2012], так и обеспечивать развитие растительности, тем самым нивелировать почвенную эрозию [Morales et al., 2013]. Необходимо отметить, что степень пирогенного влияния на почвообразование зависит как от геоморфологических условий территории, так и от особенностей лесных горючих материалов и интенсивности пирогенного воздействия [Краснощеков, Чередникова, 2022]. Таким образом, пирогенный фактор, оказывая значимое воздействие на почвы и почвообразование в лесных экосистемах, требует изучения последствий его проявления в свойствах почв, приуроченных к разным областям вертикальной зональности.

В горной лесостепи Западного Забайкалья, где преобладает засушливый климат, возникают природные пожары, которые в последние десятилетия все чаще проявляют их деструктивную роль в трансформации лесов [Евдокименко, 2008; Иванов, Евдокименко, 2017; Украинцев, Плюснин, 2015]. Участвовавший характер, частота возникновения пожаров и постпирогенные последствия негативно воздействуют на их состояние, вызывая денудационные процессы на склонах и локальное обезлесение территории.

В связи с осложнившейся ситуацией с пожарами в регионе появилась проблема низкой производительности древостоев на крутых склонах в их верхних частях в послепожарный период как результат ухудшения лесорастительных свойств почв. Это связано с тем, что при высоком температурном воздействии на почвенную поверхность происходят нарушение ее структурного состояния, ухудшение водно-физических и изменение содержания питательных элементов. Степень проявления пирогенных признаков в почвах хорошо прослеживается как в морфологии ее верхних органогенных горизонтов, так и в параметрах ее основных свойств [Шахматова, Сымпилова, 2023].

Цель работы состояла в анализе водно-физических и физико-химических свойств органо-аккумулятивных горизонтов литоземов серогумусовых для оценки их динамики и влияния на послепожарное лесовосстановление на гарях в горных условиях.

Объекты и методы

Исследования проводились в Тарбагатайском районе Республики Бурятия в пределах хр. Станичный. В целом для территории свойствен резко континентальный климат, проявляющийся в низких среднегодовых температурах воздуха, малом количестве осадков и засушливости теплого (с ранней весны до осени) периода года [Экологический атлас... 2015].

В растительном покрове распространены лесостепные сосновые (с примесью березы и осины) леса, которые подвержены периодическим пожарам, чаще природного происхождения.

Для изучения свойств почв пирогенно-трансформированных лесов были заложены три пробные площади, которые представлены участками леса на гарях (рис.), сформированных в разные годы пожарами средней интенсивности: на 1-летней гари, на гари 10-летнего возраста и на гари возрастом более 15 лет. Пробные площади заложены на высотах 890–900 м над уровнем моря.

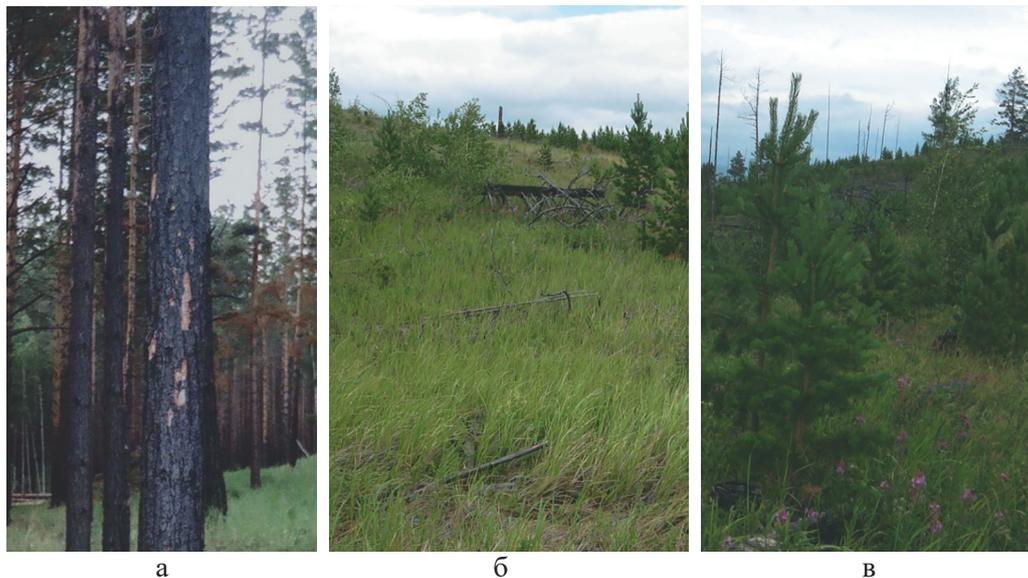


Рис. Пирогенно-трансформированные леса на разновозрастных гарях (а — 1-летняя гарь; б — гарь 10-летней давности; в — гарь возрастом более 15 лет)

Возраст пожаров на исследуемых участках определялся по «Книгам учета лесных пожаров» Заудинского лесхоза и отчетам Агентства лесного хозяйства Республики Бурятия¹. Интенсивность пожара на каждом участке определялась согласно рекомендациям П. А. Цветкова (2006).

Пробная площадь № 1 представлена 1-летней (свежей) гарью, расположенной в кострецово-кипрейно-разнотравном сообществе сосново-березового леса. Крутизна склона составляет 4–5°. Древоостой на этом участке состоит из сосны (*Pinus silvestris* L.) и березы (*Betula pendula* Roth.). Соотношение древоостоя составляет 6С4Б. В травяно-кустарничковом ярусе произрастают *Bromus inermis* (Leysser) Holub, *Chamerion angustifolium* (L.) Holub, *Phlomis tuberosa* L., *Aster alpinus* L., *Potentilla tanacetifolia* Willd. Ex Schlecht, *Carex pediformis* C. A. Meyer, *Rosa acicularis* Lindley, *Rubus saxatilis* L. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса составляет 20–30%. Последствия пожара проявляются в обугливание коры деревьев, формировании опада из хвои и листьев, уничтожении мхов и лишайников и заметном прогорании подстилки.

Пробная площадь № 2 расположена в шиповниково-разнотравно-кострецовом сообществе соснового леса с примесью березы и осины. Состав древоостоя — 5С3Б2Ос. Крутизна склона — 6–7°. Этот участок представлен гарью, образованной пожаром средней интенсивности 10 лет назад. Имеется подрост сосны, березы в возрасте 7–9 лет. Среди трав и кустарников выявлены: *Bromus inermis* (Leysser) Holub, *Chamerion angustifolium* (L.) Holub, *Dendranthema zawadskii* subsp. *peliolepis* (Trautv.) Boldyreva, *Vicia cracca* L., *Antennaria dioica* (L.) Gaertn., *Iris ruthenica* Ker-Gawler, *Artemisia gmelinii* Web. Ex Stechm., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth,

¹ Территориальный орган Федеральной службы государственной статистики Республики Бурятия. URL: <https://burstat.gks.ru> (дата обращения: 25.11.2024). Текст : электронный.

Pulsatilla turczaninovii Krylov et Serg., *Cotoneaster melanocarpus* Fischer ex Blytt, *Rosa acicularis* Lindley, *Vaccinium vitis-idaea* L. Проективное покрытие травяно-кустарникового яруса составляет 50%. Следы от низового пожара сохранились на стволах валежа (погибшие и выпавшие из древостоя деревья) в виде крупных углей на поверхности и в грубогумусовом горизонте почвы, отсутствии мохово-лишайникового покрова.

Пробная площадь № 3 представлена старой гарью, которая расположена в богато-разнотравном сообществе березово-соснового леса. Состав древостоя — 4С6Б. Крутизна склона — 6–7°. Возраст гари более 15 лет. На этом участке отмечен сильный вывал старых обгоревших деревьев. Подрост сосны 10–12-летнего возраста. В травяно-кустарничковом ярусе произрастают *Chamerion angustifolium* (L.) Holub, *Bromus inermis* (Leysser) Holub, *Phlomis tuberosa* L., *Aster alpinus* L., *Vicia cracca* L., *Potentilla tanacetifolia* Willd. Ex Schlecht, *Iris ruthenica* Ker-Gawler, *Dendranthema zawadskii* subsp. *peliolepsis* (Trautv.) Boldyreva, *Artemisia gmelinii* Web. Ex Stechm., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Cotoneaster melanocarpus* Fischer ex Blytt, *Rosa acicularis* Lindley. Проективное покрытие травяно-кустарникового яруса составляет около 90%. Признаки пожара на этом участке проявляются в большом проценте гибели деревьев (наличие валежа различной степени разложения), многочисленных углей в растительном опаде, отсутствии мохово-лишайникового покрова.

На пробных площадях заложены почвенные разрезы, в которых исследовали морфологическое строение профилей постпирогенных почв, а также определяли их водопроницаемость почв методом трубок. В лабораторных условиях традиционными методами исследовали водно-физические и физико-химические свойства верхних гумусово-аккумулятивных горизонтов почв. Определены гигроскопическая влажность, плотность сложения и плотность твердой фазы, водопроницаемость, а также содержание илстых частиц [Вадюнина, Корчагина, 1986]. Физико-химические свойства почв — кислотность, содержание углерода органических соединений, обменных оснований, подвижных фосфора и калия, а также значение CO_2 карбонатов устанавливались по методикам [Воробьева, 2006; Теории и методы... 2007]. Названия почв даны по Классификации и диагностике почв России [2004]. Латинские названия растений приведены согласно Определителю растений Бурятии [2001].

Результаты и их обсуждение

В почвенном покрове исследуемой территории представлены литоземы серогумусовые, которые формируются на щебнистых элювиально-делювиальных плотных силикатных породах. В верхней части профиля выделяется органогенный горизонт (O) мощностью до 5 см, состоящий из опада трав, веток, шишек, коры, листьев и хвои. Далее следует гумусово-аккумулятивный серовато-бурый супесчаный/легкосуглинистый горизонт (AY) мощностью до 11 см, характеризующийся мелкокомковатой структурой и включениями щебня, корней деревьев и трав. Ниже следует более плотный из-за сильной щебнистости буровато-желтый супесчаный/легкосуглинистый горизонт (C) (иногда при неясной границе он выделяется как переходный AYC), характеризующийся мелкокомковатой структурой

с признаками ореховатости и включающий мелкие корни. Этот горизонт сменяется буровато-желтой еще более плотной щелнистой материнской породой. Общая формула строения профиля почв: O–AY–C–M.

Температурное воздействие на литоземы серогумусовые привело к формированию в профиле пирогенных аналогов подстилки (O_{rig}) и органо-аккумулятивного горизонта (AY_{rig}), в морфологии которых в первый послепожарный год установлено их более темное окрашивание продуктами горения, наличие большого количества углей, затечная граница перехода в гумусовый горизонт и его большая уплотненность.

В почвах исследуемых участков гарей выявлены различия в водно-физических и физико-химических свойствах, роль которых очень важна в восстановлении растительного покрова после пирогенного воздействия. Так, на 1-летней гари отмечено заметное увеличение содержания илистых частиц в гумусовом горизонте почвы, что обусловлено термическим разрушением крупных фракций гранулометрического состава (табл. 1).

Таблица 1

Физические свойства AY горизонта в литоземах серогумусовых (средние значения)

Номер пробной площади	Глубина, см	Плотность сложения	Плотность твердой фазы	Пористость (скважность), W _{общ.}	Содержание частиц (<0,01 мм)	Гигроскопическая влага	Коэффициент фильтрации, K _{ф.} мм/мин
		г/см ³					
1	4/5–16	1,37	2,63	47	18,52	1,42	3,57
2	4–13	1,25	2,58	51	15,62	1,55	5,75
3	5–14	1,22	2,57	53	14,71	1,60	7,21

Обеднение этой фракцией почв на старых гарях может быть обусловлено частичным сносом мелкозема вниз по склону.

Выявленная низкая водопроницаемость в почве на 1-летней гари является результатом уплотнения горизонта (AY) сразу после воздействия огня средней интенсивности. Высокие показатели плотности сложения и плотности твердой фазы соответствуют уменьшению значения общего объема порового пространства в почвах. В связи с этим фильтрация воды в глубь почвы и ее аккумуляция в верхнем слое снижается, создаются неблагоприятные условия, связанные с недостатком влаги, для восстановления древесной растительности на гарях, особенно для прорастания семян. Последнее подтверждается слабым возобновлением и снижением в подросте экземпляров сосны на исследуемых участках.

Анализ показателей химических свойств верхних горизонтов почв выявил нейтральную реакцию среды на старых гарях и их подщелачивание в первый год после пирогенного воздействия (табл. 2).

Таблица 2

Химические свойства АУ горизонта в литоземах (средние значения)

Номер пробной площади	Глубина, см	pН _{н.о}	С _{орг.} , %	Обменные основания (Ca ²⁺ +Mg ²⁺), смол/kg	Подвижные по Мачигину, мг/100 г почвы		СО ₂ , %
					P ₂ O ₅	K ₂ O	
1	4/5–16	6,9	1,13	22,2	22,2	12,0	0,28
2	4–13	6,6	1,45	21,5	15,2	11,0	0,11
3	5–14	6,5	1,84	18,7	13,0	9,6	0,09

Содержание углерода органических соединений в почвах отражает его заметную потерю на молодой гари, связанную с высокотемпературным сгоранием органики, и дальнейший рост на старых гарях. Послепожарная динамика показателей суммы обменных оснований, подвижных фосфора и калия в серогумусовом горизонте прослеживает их заметное увеличение после недавнего воздействия огня и постепенное снижение спустя 10 и более лет. На 1-летней гари отмечен рост содержания СО₂, на старых – оно постепенно снижается. Это обусловлено образованием карбонатов кальция в результате пиролиза растительности и их дальнейшим выносом вниз по профилю почв. Послепожарное уменьшение содержания доступных для растений форм фосфора и калия спустя длительный период времени обусловлено как их возможной аккумуляцией корнями травянистой растительности, так и потерей в результате послепожарного смыва мелкозема в условиях увеличения высотного градиента горной местности [Kumar et al., 2013].

Установлено, что на гарях, образованных низовыми пожарами средней интенсивности в верхних частях склонов, в послепожарный период сравнительно хорошо восстанавливался травяно-кустарничковый ярус. Выявлено, что спустя 10 лет после пожара на месте погибшего древостоя был обнаружен подрост сосны и березы 7–9-летнего возраста, а на гари, где последний пожар был более 15 лет назад, — подрост сосны в возрасте 10–12 лет (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика естественного возобновления на пробных площадях

Номер пробной площади	Лесовозобновление, шт/га	
	Подрост сосны	Подрост березы
1	не обнаружено	не обнаружено
2	95	70
3	115	не обнаружено

Тем не менее представленные участки гарей характеризуются неудовлетворительным естественным возобновлением древесных пород, где количество жизнеспособного подроста не превышало 0,17 тыс. шт/га. Проективное покрытие травяного покрова сразу после пожара составляет не более 20–25%. Это обусловлено ухудшением воздухо- и водопроницаемости в верхних гумусово-аккумулятивных горизонтах в первые годы после прохождения огня, недостатком продуктивной для растений влаги в почвах и снижением питательных элементов в связи с активизацией денудационных процессов на горных склонах в постпирогенный период.

Заключение

Литоземы серогумусовые в лесостепном поясе хребта Станичный (Западное Забайкалье) подвергаются заметной трансформации под влиянием низовых пожаров. Об этом свидетельствуют изменения в их морфологическом строении, водно-физических и физико-химических свойствах.

Формирование послепожарного опада с большим содержанием углей на поверхности серогумусового горизонта почвы вызывало ухудшение его водно-физических и физических свойств в первый год после влияния огня. Установлено, что пирогенное воздействие, обусловленное пожарами средней силы, в условиях приуроченности почв к верхним позициям склонов приводило к частичной потере органического вещества и дальнейшему выносу питательных веществ из верхних горизонтов в результате имеющих место денудационных процессов на склонах.

Низовые пожары средней интенсивности в условиях Западного Забайкалья приводят к неудовлетворительному возобновлению древесных пород на гарях, уменьшают лесистость «сложных» в пирологическом аспекте территорий и в целом приводят к локальному обезлесению в регионе.

Литература

1. Вадюнина А. Ф., Корчагина З. А. Методы исследования физических свойств почв. Москва : Агропромиздат, 1986. 416 с. Текст : непосредственный.
2. Влияние природных пожаров в России 1998–2010 гг. на экосистемы и глобальный углеродный бюджет / А. З. Швиденко, Д. Г. Щепаченко, Е. А. Ваганов [и др.] // Доклады академии наук. 2011. Т. 441, № 4. С. 544–548. Текст : непосредственный.
3. Воробьева Л. А. Теория и практика химического анализа почв. Москва : ГЕОС, 2006. 400 с. Текст : непосредственный.
4. Евдокименко М. Д. Пирогенная дигрессия светлохвойных лесов Забайкалья // География и природные ресурсы. 2008. № 2. С. 109–115. Текст : непосредственный.
5. Иванов В. В., Евдокименко М. Д. Роль рубок и пожаров в динамике лесов бассейна оз. Байкал // Лесоведение. 2017. № 4. С. 256–269. DOI: 10.7868/S002411481704-0019. Текст : непосредственный.
6. Классификация и диагностика почв России / ответственный редактор Г. В. Добровольский. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с. Текст : непосредственный.
7. Краснощеков Ю. Н. Влияние низовых пожаров на эрозию почв в горных лесах Прибайкалья // География и природные ресурсы. 2022. № 2. С. 54–64. DOI: 10.15372/GIPR20220206. Текст : непосредственный.
8. Краснощеков Ю. Н., Чередникова Ю. С. Постпирогенная изменчивость лесных почв в горном Прибайкалье. Новосибирск : СО РАН, 2022. 164 с. Текст : непосредственный.

9. Определитель растений Бурятии / редактор О. А. Аненхонов. Улан-Удэ : Республиканская типография, 2001. 632 с. Текст : непосредственный.
10. Теории и методы физики почв: коллективная монография / ответственные редакторы Е. В. Шеин, Л. О. Карпачевский. Москва : Гриф и К°, 2007. 616 с. Текст : непосредственный.
11. Украинцев А. В., Плюснин А. М. Лесные пожары в Заиграевском районе Республики Бурятия в 2010–2012 годы: причины возгорания и ущерб // География и природные ресурсы. 2015. № 2. С. 60–65. Текст : непосредственный.
12. Цветков П. А. Нагар как диагностический признак // Хвойные бореальной зоны. 2006. Т. 23, № 3. С. 132–137. Текст : непосредственный.
13. Шахматова Е. Ю., Сымпилова Д. П. Постпирогенная дифференциация свойств Ареносолей в сосновых лесах Западного Забайкалья // Природа Внутренней Азии. Nature of Inner Asia. 2023. № 1(23). С. 112–120. DOI: 10.18101/2542-0623-2023-1-112-120 Текст : непосредственный.
14. Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск : Изд-во Института географии им. В. Ю. Сочавы СО РАН, 2015. 145 с. Текст : непосредственный.
15. Badia D., Marti C. Fire and Rainfall Energy Effects on Soil Erosion and Runoff Generation in Semi-Arid Forested Lands. *Arid Land Research and Management*. 2008; 22: 93–108. DOI: 10.1080/15324980801957721
16. Carroll E. M., Miller W. W., Johnson D. W. et al. Spatial Analysis of a Magnitude Erosion Event Following a Sierran Wildfire. *J. Environ. Qual.* 2007; 36: 1105–1111. DOI: 10.2134/jeq2006.0466
17. Chandra K. K., Bhardwaj A. K. Incidence of Forest Fire in India and Its Effect on Terrestrial Ecosystems Dynamics, Nutrient and Microbial Status of Soil. *Int. J. Agric. For.* 2015; 5: 69–78. DOI: 10.5923/j.ijaf.20150502.01
18. Kumar M., Sheikh M. A., Bhat J. A., Bussmann R. W. Effect of Fire on Soil Nutrients and under Storey Vegetation in Chir Pine Forest in Garhwal Himalaya, India. *Acta Ecologica Sinica*. 2013; 33: 59–63. DOI: 10.1016/j.chnaes.201211.001
19. Morales D. V, Rostagno C. M., La Manna L. Runoff and Erosion from Volcanic Soils Affected by Fire: The Case of *Austrocedrus chilensis* Forests in Patagonia, Argentina. *Plant Soil*. 2013; 370: 367–380. DOI: 10.1007/s11104-013-1640-1
20. Neary D. G., Koestner K. A., Yuoberg A., Koestner P. E. Post-Fire Rill and Gully Formation, Schultz Fire 2010, Arizona, USA. *Geoderma*. 2012; 191: 97–104. DOI: 10.1016/j.geoderma.2012.01.016

Статья поступила в редакцию 13.10.2025; одобрена после рецензирования 24.11.2025; принята к публикации 10.12.2025.

PYROGENIC TRANSFORMATION OF LITHOZEMS IN THE FOREST-STEPPE OF WESTERN TRANSBAIKALIA

E. Yu. Shakhmatova

Ekaterina Yu. Shakhmatova
Cand. Sci. (Biol.), Researcher,
Institute of General and Experimental Biology
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670047, Russia
ekashakhmat@mail.ru

Abstract. The article describes grey-humus lithozems widely distributed in the forest-steppe zone of Western Transbaikalia under pine forests and their secondary forests. The impact of medium intensity surface fires led to the formation of pirogenic organogenic horizons enriched with the charcoal residues of varying sizes. It has been established that one year after the fire the soil is characterized by compaction of the upper part of the profile, decrease in the pore volume, low water permeability, and relatively high levels of the silt fraction content in the texture in relation to the soils of old burnt areas. Post fire changes in chemical properties show a decrease in organic carbon in the humus horizon and a short-term increase in nutrient and CO₂ which subsequently decreased. These losses associated with the absorption of substances by the roots of lower layers vegetation with their migration down the soil profile, as well as with the denudation processes actively expressed in the post-fire period in the mountain slopes, negatively affect the regeneration of woody vegetation in burnt areas.

Keywords: Western Transbaikalia, forest-steppe pine and secondary forests, lithozems, post-fire soil transformation, reforestation.

Acknowledgments

The study was funded by state budget assignment FWSM-2021-0004.

For citation

Shakhmatova E. Yu. Pyrogenic Transformation of Lithozems in the Forest-Steppe of Western Transbaikalia. *Nature of Inner Asia*. 2025; 4(33): 59–67 (In Russ.). DOI: 10.18101/2542-0623-2025-4-59-67

The article was submitted 13.10.2025; approved after reviewing 24.11.2025; accepted for publication 10.12.2025.