

Научная статья  
УДК 631.48  
DOI: 10.18101/2542-0623-2023-1-112-120

## ПОСТПИРОГЕННАЯ ДИФФЕРЕНЦИАЦИЯ СВОЙСТВ АРЕНОСОЛЕЙ В СОСНОВЫХ ЛЕСАХ ЗАПАДНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ

Е. Ю. Шахматова, Д. П. Сымпилова

© Шахматова Екатерина Юрьевна

кандидат биологических наук,  
Институт общей и экспериментальной биологии СО РАН  
Россия, 670047, г. Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6  
ekashakhmat@mail.ru

© Сымпилова Дарима Паламовна

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

**Аннотация.** В статье представлен анализ свойств почв горно-лесостепных сосновых лесов Западного Забайкалья, пройденных низовыми пожарами. В профилях Арено-солей, развитых на песчаных отложениях в бассейне реки Воровка, показано морфологически выраженное закрепление следов пирогенного воздействия в виде углей и углистой пыли, которые определяют окраску верхних постпирогенных горизонтов. В исследуемых почвах выявлена дифференциация физических и химических параметров. Установленные различия в показателях гигроскопической влаги, плотности сложения и плотности твердой фазы, общей порозности и водопроницаемости, а также органического углерода, рН, обменных оснований, оксалаторастворимого железа верхних горизонтов почв гарей связаны с постпирогенной динамикой их свойств. Изученная дифференциация свойств почв служит долговременным индикатором прошлых пожаров; она позволяет характеризовать степень их проявления в почвах в зависимости от возраста и интенсивности огня, тем самым отражая послепожарное функционирование почв и их лесовосстановительный потенциал.

**Ключевые слова:** Западное Забайкалье, сосновые леса, Ареносоли, физико-химические свойства, постпирогенная дифференциация.

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

### Для цитирования

Шахматова Е. Ю., Сымпилова Д. П. Постпирогенная дифференциация свойств Арено-солей 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

### Введение

Пожары являются одним из ведущих факторов динамики и функционирования бореальных лесов [Фуряев, Самсоненко, 2011; Flannigan et al., 2013]. В последние десятилетия во многих регионах Сибири на фоне усиления аридизации

климата их рост вызвал нарушенность и деградацию лесов с уменьшением лесопокрытой площади [Швиденко, Щепаченко, 2013; Kharuk et al., 2021; Иванов, Евдокименко, 2017].

При пожарах почвы попадают в зону высокотемпературного влияния, а после воздействия огня становятся аккумуляторами продуктов горения биомассы и хранителями следов пирогенного воздействия на экосистему. В связи с этим при исследовании последствий пожаров в них учитываются разнообразные послепожарные изменения, представленные в работах как трансформации почвенных свойств или процессов. Это обусловлено тем, что варьирование степени и форм проявления прямого и косвенного пирогенного воздействия на почвы во многом определяет их морфологическое и морфохимическое разнообразие [Чевычелов, 2003; Брянин, Костенков, 2012; Думов, Gabov, 2015; Краснощеков, 2018; Габбасова и др., 2019].

В Западном Забайкалье — регионе с засушливым климатом, активное влияние пирогенного фактора негативно отражается на состоянии сосновых лесов [Евдокименко, 2008]. Выявлено, что почвы территории практически повсеместно трансформированы огнем [Шахматова и др., 2021]. При низовых пожарах в результате пиролиза биомассы нижних ярусов растительности, напочвенного покрова, лесного опада и подстилки в органогенные горизонты почв поступают продукты горения (зола, угли, угольная пыль и др.), синтезированные при высоких температурах. Наличие углей в профиле почв морфологически проявляется в виде темной или почти черной окраски верхних органо-аккумулятивных горизонтов [Bobrovsky, 2019], а также является причиной изменения физических и химических свойств почв.

Целью данной работы было показать различия в свойствах верхних горизонтов почв на горях для оценки динамики, функционирования почв и их влияния на естественное восстановление лесов в регионе.

### **Объекты и методы**

Исследования проведены в сосновых лесах северных отрогов хребта Цаган Дабан, произрастающих в среднем течении реки Уда в бассейне ее левого притока реки Воронка. Природные условия территории характеризуются резко континентальным климатом, разнородностью рельефа (чередуются горы и межгорные понижения), преобладанием в растительном покрове территории сосновых лесов, разнообразием почв и их сезонным промерзанием. Среднегодовые температуры воздуха составляют  $-4.2...-5.0$  °С. Среднегодовое количество осадков составляет 250 мм в год. Весна и начало лета характеризуются засушливостью, наблюдаются незначительные осадки и сильные ветры, что приводит к высокой сухости воздуха и почв. Влажность воздуха в этот период не превышает 30–40%, а в отдельные дни составляет 10%. В летний период выпадает до 70–80%, большая часть их приходится на июль–август<sup>1</sup>. Особенности климата являются одной из основных причин высокой горимости лесов в регионе. Главными факторами возникновения пожаров на этой территории выступают антропогенные источники, такие как лесозаготовки и неконтролируемые выжигания (до 80% возгораний) [Евдокименко, 2011].

---

<sup>1</sup> Экологический атлас бассейна озера Байкал. Иркутск : Изд-во Ин-та географии им. В. Б. Сочавы СО РАН, 2015. 145 с.

Для исследования свойств постпирогенных почв мы выбрали пять пробных площадей (табл. 1). Три площадки располагались на гаях, образованных после низовых пожаров средней интенсивности: на свежей гари, на гари 5-летнего возраста и 10-летней гари. Две другие площадки были расположены на свежих гаях, сформированных низовыми пожарами слабой и сильной интенсивности. Давность пожаров устанавливали по «Книгам учета лесных пожаров», составленным на основе записей лесников Заудинского лесхоза Республики Бурятия.

В исследуемых сосновых лесах определяли интенсивность огня, в почвах проводили профилно-генетический анализ, устанавливали их водопроницаемость, анализировали цвет верхних почвенных горизонтов по шкале Манселла и их физико-химические свойства [Воробьева, 2006; Теории и методы физики... 2007; Цветков, 2006]. Для классификации почв применяли систему WRB<sup>1</sup>.

### Результаты и их обсуждение

Выявлено, что в бассейне реки Воровка практически отсутствуют экосистемы сосновых лесов, не затронутых огнем. Следы от пожаров наблюдались на стволах деревьев, а также в напочвенном ярусе. В зависимости от тяжести и возраста огневого воздействия на пробных площадях они проявлялись в обугливание коры деревьев, их повреждении или усыхании, в появлении опада, вызванного термической гибелью хвоинок, в прогорании подстилки, в частичном или полном сгорании мохово-лишайникового покрова, а также в послепожарной гибели подроста сосны.

В почвенном покрове территории фоновый тип почв представлен Ареносолями (Arenosols), развитыми на покровных полигенетических песках. Общая формула организации профиля: O–Ah–Bw1–Bw2–C.

Анализ морфологических свойств почв показал дифференциацию в верхней части профилей, которая связана с возрастом и силой пожаров.

Так на 10-летней гари хорошо выражен горизонт подстилки, окрашенной в серый цвет (10YR 4/1), в составе которой помимо слабо разложившегося фрагментированного растительного материала преобладают фракции обгорелых веток, коры и хвои. Серовато-бурый (10YR 5/2) гумусово-аккумулятивный горизонт Ah мощностью до 10 см сменяют переходные AhBw1 и серия горизонтов Bw1 и Bw2, окрашенные в буроватые или буровато-охристые тона. Нижний иллювиальный горизонт переходит в почвообразующую породу. В окраске минеральной части профиля почв присутствуют железистые и марганцевые затеки, пятна и примазки, образованные в результате прошлых пожаров.

На 5-летней гари подстилка меньшей мощности переходит в гумусовый горизонт, содержащий включения пирогенной органики, главным образом в виде мелких угольков, и окрашенный в буровато-темно-серые тона (10YR 4/2). Следующий ниже буровато-охристый иллювиальный горизонт отличается большей плотностью, чем в почве на 10-летней гари. Здесь отмечены мелкие и крупные корни растений. Переход в почвообразующую породу постепенный.

<sup>1</sup> IUSS Working Group WRB. World Reference Base for Soil Resources 2014. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. *World Soil Resources Reports*. Rome : FAO, 2014. No. 106. 181 p.

Таблица 1

Эколого-географическая характеристика пробных площадей

Возраст гари, интенсивность пожара	Координаты	Тип леса	Состояние пробной площади при полевом обследовании
Свежая гарь, средняя	51°37'51" с. ш., 107°51'18" в. д.	Сосняк мертвопокровный	
5 лет, средняя	51°44'07" с. ш., 107°48'26" в. д.	Сосняк злаково-разнотравный	
10 лет, средняя	51°41'15" с. ш., 107°48'07" в. д.	Сосняк рододендроново-разнотравно-лишайниковый	
Свежая гарь, слабая	51°37'27" с. ш., 107°51'03" в. д.	Сосняк редкотравный	
Свежая гарь, сильная	51°37'30" с. ш., 107°50'55" в. д.	Сосняк мертвопокровный	

В верхних горизонтах Ареноселей на свежих гаях после пожаров различной силы выявлены включения в виде большого количества углей и углистой пыли, что формирует темные тона их окраски. Мощность подстилки варьирует и зависит от силы температурного воздействия. После низового беглого пожара слабой интенсивности мощность подстилки практически не отличается от этой характеристики на старых гаях. Она варьирует и составляет 1,3–1,5 см. В компонентном составе подстилки большое содержание старой полуразложившейся хвои и веток, местами обгорелых. На гари после средне- и высокоинтенсивного пожаров горизонт опада, состоящего из свежей хвои, сменяет обгоревшая темно-серая подстилка (10YR 3/1) с большим содержанием углей.

Окраска Ареноселей в гумусово-аккумулятивных горизонтах различна: на старых гаях и после слабоинтенсивного пожара она характеризуется серовато-бурными (10YR 5/2) тонами, а после высокоинтенсивного воздействия очень темной серовато-бурой (10YR 3/2) окраской. Влияние низового пожара средней интенсивности оказало влияние на границу перехода в иллювиальный горизонт. Сразу же после воздействия огня она становится волнистой или кармановидной. В верхней части горизонта Bw1 выявлено послепожарное уплотнение, а также присутствуют мелкие угли и органо-минеральные включения, окрашенные в темно-серые и бурые оттенки (10YR 5/3). В почве, пройденной высокоинтенсивным пожаром, в переходном горизонте Bw1C выявлен послепожарный охристо-бурый морфон, который содержит в нижней его части мелкие разложившиеся угольки и корни растений.

Таким образом, более высокие показания цветности в гумусовых горизонтах почв на свежей гари и после пожара высокой интенсивности обусловлены обугливанием и пиролизом органического вещества, а буровато-охристые оттенки иллювиальных горизонтов — образованием и накоплением оксидов железа при высоких температурах.

В почвах на гаях установлены заметные различия в физических и химических свойствах. Выявлено увеличение показателей плотности сложения и плотности твердой фазы в результате поступления и аккумуляции в верхних горизонтах почв пирогенных углистых частиц после недавнего воздействия огня (табл. 2).

На свежих гаях показатели коэффициента фильтрации воды низкие, что свидетельствует об уплотнении верхних горизонтов почв и ухудшении их водопроницаемости. В результате нарушения структуры верхних горизонтов почв, образования на их поверхности корки и попадания в поровое пространство золы и угольной пыли общий объем пор уменьшается и ухудшается аэрация в почвах. В соответствии с этим происходит уменьшение поглощения, аккумуляции и расхода воды почвой. После среднеинтенсивных пожаров создавшиеся условия негативно воздействуют на прорастание семян, а также приводят к гибели проростков сосны в первые годы [Шахматова и др., 2021]. После высокоинтенсивного пожара имеют место снос мелкозема и эрозия почв [Martin & Moody, 2001].

Недавнее высокотемпературное воздействие обусловило низкие показатели гигроскопической влаги верхних горизонтов, а также изменение содержания илстой фракции в гумусовых горизонтах и ее дальнейшее накопление в иллювиальных горизонтах. Это связано с изменением структуры верхних горизонтов,

что обусловлено термическим разрушением агрегатов и песчаных зерен. По мере увеличения послепожарного периода характеристики физических и водно-физических свойства меняются, фильтрационные свойства почв улучшаются.

Таблица 2

Физические свойства горизонта Ah в Ареносолях (средние значения)

Возраст гари, интенсивность	Глубина, см	Плотность сложения	Плотность твердой фазы	Общая порозность	Содержание частиц (<0.001 мм)	Гигровлага	Коэффициент фильтрации, $K_{10}$ , мм/мин
		г/см <sup>3</sup>			%		
10 лет, средняя	1–5	1,24	2,55	51	5,43	1,45	7,27
5 лет, средняя	1–8	1,38	2,58	47	2,42	0,76	5,27
свежая, слабая	1–5/7	1,35	2,55	48	2,47	1,09	6,49
свежая, средняя	1–4/5	1,45	2,57	44	2,93	0,97	4,95
свежая, сильная	1–5/7	1,48	2,65	45	3,21	0,53	4,53

Согласно проведенному анализу химических свойств почв на гарях заметной дифференциацией характеризуется реакция среды, а также содержание органического вещества и макроэлементов (табл. 3).

Таблица 3

Дифференциация основных химических свойств горизонта Ah в Ареносолях (средние значения)

Возраст гари, интенсивность пожара	Глубина, см	рН <sub>Н<sub>2</sub>О</sub>	C <sub>орг</sub> , г/кг	Обменные основания, смолс/kg		Fe <sub>ок</sub> , %
				Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	
10 лет, средняя	1–5	6,1	13	13,5	5,8	0,48
5 лет, средняя	1–8	6,3	10	16,1	3,6	0,60
Свежая, слабая	1–5/7	6,2	11	10,4	3,3	0,52
Свежая, средняя	1–4/5	6,5	15	19,1	1,1	0,64
Свежая, сильная	1–5/7	6,7	22	21,2	1,5	0,65

Выявленные различия рН водной суспензии, а также содержание обменных катионов, углерода органических соединений и оксалаторастворимого железа в горизонте Ah отражают послепожарную их динамику на гарях. Они позволяют установить, что значительных изменений в свойствах почв на свежей гари,

образованной пожаром слабой интенсивности, не происходит и данные показатели близки к свойствам почв на старых гарях, образованных после низовых пожаров средней интенсивности. Увеличение значений рН в почвах сразу же после воздействия низовых пожаров средней и высокой интенсивности являются результатом образующихся щелочных ионов золы при сжигании биомассы. Сравнительно высокие показатели углерода органических соединений, обменного кальция и подвижного железа также выявлены в первый год после средне- и высокоинтенсивного пожара. Увеличение содержания этих параметров объясняется ускоренным разложением сгоревших растительных остатков, изменением элементного состава продуктов горения и активным выделением железа, экстрагируемого оксалатной вытяжкой. По мере старения гари значения изученных параметров снижаются.

Таким образом, постпирогенная дифференциация рассмотренных свойств верхних гумусовых горизонтов Ареносолей на гарях отражает степень проявления пирогенных признаков, обретенных в результате низовых пожаров в разные годы и при различных сценариях влияния огня. Варьирование изученных параметров на гарях и их выявленная положительная динамика дают возможность проследить период восстановления почвенных свойств, который может способствовать успешному прорастанию семян и выживанию подроста в ювенильной стадии развития.

### **Заключение**

В Ареносолях, развитых в почвенном покрове под сосновыми постпирогенными лесами в Западном Забайкалье, установлены различия в морфологических, физических и химических показателях верхних горизонтов Ah в результате низовых пожаров.

Проведенные исследования на свежих гарях выявили наличие пирогенных признаков в свойствах подстилки и в морфологическом строении верхних горизонтов почв. Более заметные пирогенные следы отмечены в первый год после пожара высокой интенсивности, где установлены низкие значения мощности органо-генных горизонтов, их большая уплотненность и темное окрашивание за счет значительной доли недавно поступившего пирогенного органического вещества.

В почвах, недавно пройденных пожарами средней и высокой интенсивности, показатели плотности сложения и плотности твердой фазы отличаются от аналогичных параметров на старых гарях, а также на гарях после пожаров слабой интенсивности. Низкие значения мощности гумусовых горизонтов, общего объема порового пространства и снижение фильтрационной способности почв сразу после пожаров обусловлены ухудшением водно-физических характеристик в результате нарушения структуры почвенных агрегатов, образования корки на поверхности почвы и проникновения в поры мелкодисперсных продуктов горения органического вещества. Связанные с этими показателями значения реакции среды, углерода органических соединений, обменных оснований и оксалаторастворимого железа также варьируют, как на разновозрастных гарях, так и в почвах после пожаров различной интенсивности.

Наши результаты демонстрируют, что дифференциация в представленных почвенных свойствах служит доказательным инструментом для индикации интенсивности пожаров, а также оценки их возраста. Учитывая показатели исследуемых

параметров почв при проведении почвенно-экологического мониторинга в регионах с засушливым климатом, можно проследить скорость восстановления свойств Ареноселей в послепожарный период и их лесовосстановительный потенциал.

### Литература

1. Брянин С. В., Костенков Н. М. Оценка экологического состояния пирогенно-трансформированных буроземов Дальнего Востока // Вестник СВНИЦ ДВО РАН. 2012. № 2. С. 90–95. Текст : непосредственный.
2. Воробьёва Л. А. Теория и практика химического анализа почв. Москва : ГЕОС, 2006. 400 с. Текст : непосредственный.
3. Влияние низовых пожаров на свойства и эрозию лесных почв Южного Урала (Башкирский государственный природный заповедник) / И. М. Габбасова, Т. Т. Гарипов, Р. Р. Сулейманов [и др.] // Почвоведение. 2019. № 4. С. 412–421. Текст : непосредственный.
4. Евдокименко М. Д. Пирогенная дигрессия светлохвойных лесов Забайкалья // География и природные ресурсы. 2008. № 2. С. 109–115. Текст : непосредственный.
5. Евдокименко М. Д. Факторы горимости байкальских лесов // География и природные ресурсы. 2011. № 3. С. 51–57. Текст : непосредственный.
6. Иванов В. В., Евдокименко М. Д. Роль рубок и пожаров в динамике лесов бассейна озера Байкал // Лесоведение. 2017. № 4. С. 256–269. Текст : непосредственный.
7. Краснощеков Ю. Н. Почвы горных лесов Прибайкалья и их трансформация под влиянием пожаров // Почвоведение. 2018. № 4. С. 387–401. Текст : непосредственный.
8. Теории и методы физики почв: коллективная монография / ответственный редактор Е. В. Шейн, Л. О. Карпачевский. Москва : Гриф и К°, 2007. 616 с. Текст : непосредственный.
9. Фуряев В. В., Самсоненко С. Д. Исследование роли пожаров в формировании бореальных лесов // Лесоведение. 2011. № 3. С. 73–79. Текст : непосредственный.
10. Цветков П. А. Нагар как диагностический признак // Хвойные бореальной зоны. 2006. Т. 23, № 3. С. 132–137. Текст : непосредственный.
11. Чевычелов А. П. Пирогенез и постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 273–278. Текст : непосредственный.
12. Шахматова Е. Ю., Убугунов Л. Л., Сымпилова Д. П. Послепожарные трансформации в сосновых лесах Селенгинского среднегорья (Западное Забайкалье) // География и природные ресурсы. 2021. № 1. С. 65–72. Текст : непосредственный.
13. Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50–61. Текст : непосредственный.
14. Bobrovsky M. V. The history of fires in old-growth Korean pine-broadleaved forests in the middle reaches of the Bikin river (western slope of the Sykhote-Alin mountains) according to dendrochronological and pedoanthracological data. *Russian Journal of Ecosystem Ecology*. 2019; 4(1): 1–27.
15. Dymov A. A., Gabov D. N. Pyrogenic alterations of Podzols at the North-East European part of Russia: Morphology, carbon pools, PAH content. *Geoderma*. 2015; 241–242: 230–237.
16. Flannigan M. D., Cantin A. S., De Groot W. J., Wotton M., Newbery A., Gowman L. M. Global wildland fire season severity in the 21st century. *Forest Ecology and Management*. 2013; 294: 54–61.
17. Ketterings Q. M., Bigham J. M. Soil Color as an Indicator of Slash-and-Burn Fire Severity and Soil Fertility in Sumatra, Indonesia. *Soil Science Society of America Journal*. 2000; 64: 1826–1833.
18. Kharuk V. I., Ponomarev E. I., Ivanova G. A., Dvinskaya M. L., Coogan S. C. P., Flannigan M. D. Wildfires in the Siberian taiga. *Ambio*. 2021; 50: 1953–1974.

19. Martin D. A., Moody J. A. Comparison of soil infiltration rates in burned and unburned mountains watersheds. *Hydrological Processes*. 2001; 15(15): 2893–2903.

*Статья поступила в редакцию 15.12.2022; одобрена после рецензирования 10.01.2023; принята к публикации 19.01.2023.*

POST-PYROGENIC DIFFERENTIATION OF ARENOSOLS PROPERTIES  
IN THE PINE FORESTS OF WESTERN TRANSBAIKALIA

E. Yu. Shakhmatova, D. P. Sympilova

*Ekaterina Yu. Shakhmatova*

Cand. Sci. (Biol.),  
Institute for General and Experimental Biology SB RAS  
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670043, Russia  
ekashakhmat@mail.ru

*Darima P. Sympilova*

Cand. Sci. (Geogr.),  
Institute for General and Experimental Biology SB RAS  
6 Sakhyanovoy St., Ulan-Ude 670043, Russia  
darimasp@mail.ru

*Abstract.* The article presents an analysis of the soil properties of the Western Transbaikalia montane-steppe pine forests damaged by ground fires. The profiles of Arenosols developed on sandy sediments in the Vorovka River basin show morphologically acute fixation of the pyrogenic effects in the form of coals and coal-like dust, which determine the colour of the upper post-pyrogenic horizons. We have revealed the differentiation of physical and chemical parameters in the studied soils. The established differences in the indicators of hygroscopic moisture, bulk and solid phase densities, total soil space and water permeability, as well as organic carbon content, pH-level, exchangeable base status, oxalate-soluble iron content of the upper horizons of soils are associated with the post-pyrogenic dynamics of their properties. The studied differentiation of the soil properties is a long-term indicator of the past fires, it allows us to characterize the degree of their manifestation in soils depending on the age and intensity of the fire, thereby reflecting the post-fire functioning of the soils and their afforestation potential.

*Keywords:* Western Transbaikalia, pine forests, Arenosols, physico-chemical properties, post-pyrogenic differentiation.

*Acknowledgments.* The work was carried out and budgeted within the framework of the state assignment FWSM-2021-0004

*For citation*

Shakhmatova E. Yu., Sympilova D. P. Post-Pyrogenic Differentiation of Arenosols Properties in the Pine Forests of Western Transbaikalia. *Nature of Inner Asia*. 2023; 1(23): 112–120 (In Russ.). DOI: 10.18101/2542-0623-2023-1-112-120

*The article was submitted 15.12.2022; approved after reviewing 10.01.2023; accepted for publication 19.01.2023.*