

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

Экология

УДК 634.043:631.445.11:631.472.56(282.256.67)
<https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-4-562-573>

Оригинальная статья

Влияние крупных лесных пожаров на мерзлотные палевые почвы Лено-Вилуйского водораздела

Р. В. Десяткин¹, А. З. Иванова^{✉,1}, А. Р. Десяткин^{1,2},
М. Х. Николаева¹, Н. В. Филиппов¹

¹Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация

²Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, г. Якутск, Российская Федерация

✉madalexia@mail.ru

Аннотация

В результате катастрофических пожаров 2021 г. в Центральной Якутии полностью выгорели леса на огромных территориях – погиб древостой, деградировали лесная подстилка и верхние органогенные горизонты почвы. Резко изменился водно-температурный режим мерзлотных почв, развивающихся в условиях близкого залегания многолетнемерзлой толщи к дневной поверхности. Цель работы – изучение влияния пожара на морфологические и физико-химические свойства палевых почв в первые годы после пожара после гибели древостоя, выгорания подстилки и органогенного слоя почвы. Объект исследования – мерзлотные палевые слабоосолоделые суглинистые почвы в лиственничных лесах Лено-Вилуйского водораздела. Дана подробная информация о растительности, морфогенетическом строении почвенных профилей, проведена параметризация полевой влажности, содержания гумуса, потерь при прокаливании, реакции почвенной среды, суммы обменных оснований и гранулометрического состава почв. Выявлено, что поступление на поверхность продуктов горения в виде золы вызывает подщелачивание с параллельным значительным уменьшением содержания органического углерода в поверхностных слоях. Почвы контрольного участка и гари сильно различаются по морфологическому строению: на гари сформирован пирогенный слой небольшой мощности со слабым экранирующим эффектом, активизировались процессы перемешивания грунта, из-за чего нарушаются горизонтально-направленные естественные границы почвенных горизонтов. Уничтожение теплоизолирующего слоя в виде напочвенного покрова и органогенных отложений способствует сильному нагреву почвы, начинается повышение температуры почвенной массы, увеличение глубины сезонного протаивания. Таяние верхних слоев многолетней мерзлоты и освобождение ранее консервированной влаги приводит к насыщению почвы влагой, что при промерзании почв в зимний период активизирует криотурбацию. В почвах, не тронутых пожарами, мерзлотное перемешивание почвенного профиля выражено слабо. Временное переувлажнение почв на плохо дренируемых грунтах в первые годы после пожаров повышает валеж древесного яруса из-за снижения механического сцепления корней деревьев с грунтом.

Ключевые слова: лесные пожары, гарь, палевая почва, многолетняя мерзлота, лиственничник, деградация, Центральная Якутия

Финансирование. Работа выполнена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования РФ (проект № 0297-2021-0026, ЕГИСУ НИОКТР № АААА-А21-121012190036-6).

Благодарности. Авторы благодарят коллегу Кырбасову Татьяну Викторовну, принимавшую участие в выполнении лабораторных работ.

Для цитирования: Десяткин Р.В., Иванова А.З., Десяткин А.Р., Николаева М.Х., Филиппов Н.В. Влияние крупных лесных пожаров на мерзлотные палевые почвы Лено-Вилуйского водораздела. *Природные ресурсы Арктики и Субарктики*. 2024;29(4):562–573. <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-4-562-573>

The impact of large forest fires on frozen pale soils in the Lena-Vilyui watershed

Roman V. Desyatkin¹, Alexandra Z. Ivanova^{✉,1}, Alexey R. Desyatkin^{1,2},
Maya Ch. Nikolaeva¹, Nikolai V. Filippov¹

¹Institute for Biological Problems of Cryolithozone,

Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

²Melnikov Permafrost Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Yakutsk, Russian Federation

✉madalexia@mail.ru

Abstract

The catastrophic wildfires that occurred in Central Yakutia in 2021 resulted in extensive forest destruction, leading to the complete incineration of significant forested areas. This devastation has caused the loss of tree stands and the degradation of forest litter, as well as the upper organic layers of the soil. Consequently, there has been a substantial alteration in the water-temperature regime of permafrost soils, which are formed under permafrost conditions. The objective of this study is to investigate the impact of these fires on the morphological, physical, and chemical characteristics of pale soils during the initial years following the fire event, specifically after the destruction of the tree stand and the combustion of the litter and organic soil layers. This research primarily focuses on pale, slightly solodized soils located within the larch forests of the Lena-Vilyui watershed. This research presents comprehensive insights into vegetation and the morphogenetic characteristics of soil profiles, alongside the parameterization of various soil properties, including field moisture, humus content, loss on ignition, reactions of the soil environment, exchangeable base quantities, and granulometric composition. The findings indicate that the deposition of combustion byproducts, specifically in the form of ash, results in soil alkalization, which is associated with a marked decrease in organic carbon levels within the surface strata. Notably, the morphological characteristics of soils in the control area exhibit significant differences compared to those in the burned region; a thin pyrogenic layer with minimal screening effects has developed in the burned region, soil mixing processes have become more pronounced, and the natural horizontal boundaries of soil horizons have been disrupted. The degradation of heat-insulating ground cover and organic matter contributes to substantial soil heating, leading to elevated soil mass temperatures and an extended seasonal thaw. The thawing of upper permafrost layers and the release of previously sequestered moisture result in soil saturation, which, upon winter freeze, triggers cryoturbation. In contrast, soils that have not experienced fire exhibit only a weak expression of permafrost mixing within the soil profile. Furthermore, the temporary waterlogging of poorly drained soils in the initial years post-fire exacerbates tree.

Keywords: forest fire, burnt forest, pale soil, permafrost, larch, degradation, Central Yakutia

Funding. This study was conducted within the framework of the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (project No. 0297-2021-0026, reg. No. AAAA-A21-121012190036-6).

Acknowledgements. The authors wish to express their gratitude to Tatyana Viktorovna Kyrbasova for her participation in the laboratory work.

For citation: Desyatkin R.V., Ivanova A.Z., Desyatkin A.R., Nikolaeva M.Kh., Filippov N.V. The impact of large forest fires on frozen pale soils in the Lena-Vilyui watershed. *Arctic and Subarctic Natural Resources*. 2024;29(4):562–573. (In Russ.); <https://doi.org/10.31242/2618-9712-2024-29-4-562-573>

Введение

В 2021 г. Центральная Якутия стала мировым эпицентром крупнейших по площади катастрофических лесных пожаров. Самые крупные пожары отмечены на междуречье Лены и Вилюя. В частности, в Горном улусе в этот период огнем было затронуто 1,4 млн га, т. е. почти четверть территории муниципального района. На большой части охваченных огнем площадей фиксировался верховой тип пожара, который повлек за собой массовую гибель древостоя.

В пределах криолитозоны лесные пожары приводят к существенной динамике режима и свойств мерзлотных почв [1–4]. В условиях глобального изменения климата повышение температуры воздуха и изменения количества осадков не только вызывают значительное усиление пожарной активности, но и приводят к кардинальным изменениям лесных экосистем. Уничтожая лесной полог, они нарушают местный климат, резко увеличивают глубину слоя сезонного протаивания почв и грунтов, перестраивают водный

режим крупных территорий и приводят к смене типа почвообразования на гарях. Многие исследователи считают, что лесные пожары являются основным фактором термокарстовой деградации почвенного покрова и многолетней мерзлоты в настоящее время [5–9]. При этом уничтожение огнем растительного покрова и верхних органо-генных слоев почвы в первую очередь приводит к повышению температуры грунта и углублению деятельного слоя [8–10], после которых начинается таяние льдов ледового комплекса, вызывающее необратимую деформацию грунтов. Считается, что лесной пожар – это скачкообразный фактор, который в короткий промежуток времени инициирует изменение морфологических и физико-химических свойств лесных почв [11–15]. Послепожарные изменения в почве связаны с совокупностями факторов почвообразования [16] и обуславливают неоднородность почвенных свойств в пределах одного участка прохождения пожара [17]. При сильных пожарах нарушаются и трансформируются процессы накопления и преобразования органики [18], повышается фильтрационная способность почвы из-за уничтожения подстилки и верхних органо-генных слоев, увеличивается плотность грунта [19, 20]. Многими авторами отмечается уменьшение кислотности, содержания гумуса и степени насыщенности основаниями органо-генных горизонтов суглинистых почв лиственничников в первые годы после пожара [2, 21–23].

Цель данной работы – исследование влияния пожара на свойства палевой почвы в первые годы после гибели древостоя и выгорания органо-генного слоя почвы.

Материалы и методы

Исследования влияния крупных пожаров на палевые почвы были проведены в окрестностях с. Бясь-Кюэль Горного улуса в центральной части Лено-Вилуйского водораздела. Климат района исследований резко-континентальный, засушливый, продолжительность холодного периода с отрицательными среднесуточными значениями составляет 204–219 дней [24]. По данным метеорологической станции Бердигестях [25], в 2021 г. среднемесячная температура января составила –45,0, июля – +19,3, среднегодовая – –8,5 °С. Количество осадков за год небольшое – 280 мм, с максимумом в августе, июнь и июль были относительно засушливыми по сравнению с другими годами, что привело к сильному разрастанию пло-

щади пожаров в данный период. Коэффициент пожарной опасности в Горном улусе, рассчитанный для 10-летнего периода, не опускается ниже 3–4 класса (средняя и высокая опасность), причина пожаров в 80 % случаев – сухие грозы [26].

Изученные участки по лесорастительному районированию относятся к Центральному якутскому аласно-среднетаежному округу. Леса среднетаежного типа из лиственницы даурской (92 %), сосны (6) и березы (2 %) с очень небольшой примесью ели. Средний запас 113 г/м² с пониженным выходом деловой древесины. Преобладают лиственничники брусничные, а также багульниково- и голубично-моховые, с участием сосняков толокнянковых [27]. По геоботаническому районированию исследованная территория относится к Центрально-якутской среднетаежной подпровинции, Вилуйскому округу, характеризуется при общем преобладании лиственничных лесов, преимущественно брусничных и багульниковых, развитием сосновых лесов [28].

Исследуемый участок расположен в пределах равнинной области криолитозоны, где почвообразующие породы представлены покровными суглинками и эолово-аллювиальными песчаными отложениями, которые подстилаются многолетнемерзлыми грунтами (рис. 1). Характерен аласно-таежный тип ландшафтов. На таких территориях высока вероятность деградации ледового комплекса, сопровождающаяся интенсивными термокарстовыми процессами.

По почвенно-географическому районированию исследованные участки относятся к Центрально-якутской почвенной провинции холодных мерзлотных почв Восточно-Сибирской мерзлотно-таежной почвенно-климатической области распространения палевых типичных и осолоделых почв [29]. В работе использовалась классификация почв по Еловской Л.Г. [30], индексация горизонтов дана по полевому определителю почв России [31]. Палевые почвы изучены достаточно полно [32–34]. Данные почвы развиваются под пологом лиственничных и смешанных лесов и приурочены к низким и слегка возвышенным частям древней аллювиальной равнины, сложенной в случае палевых почв суглинками. В окрестностях с. Бясь-Кюэль через два года после пожара (в первый год после пожара высокая влажность грунта затрудняла вскрытие профиля) были заложены две мониторинговые площадки с полнопрофильными почвенными разрезами палевой почвы.

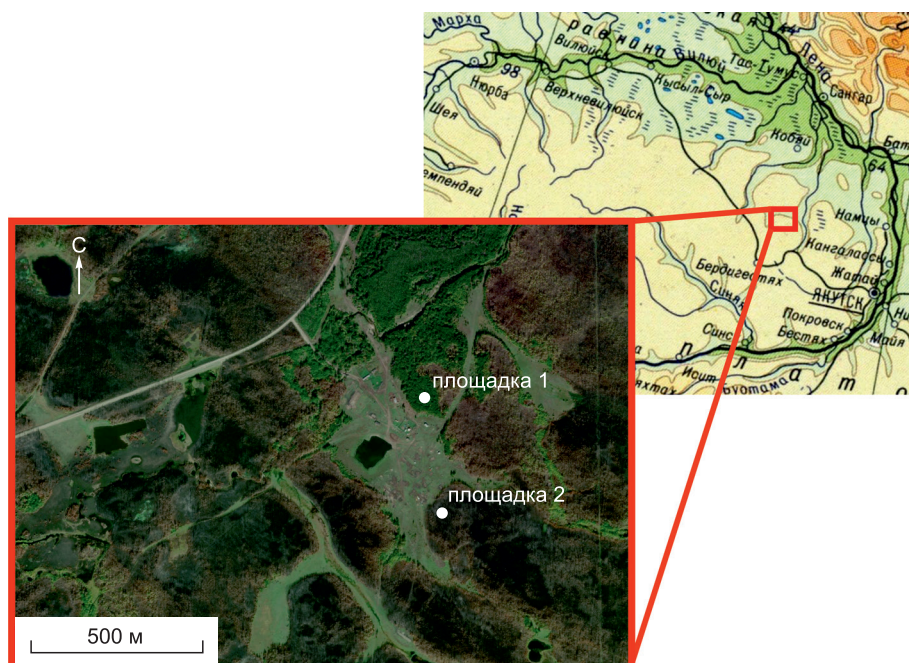


Рис. 1. Схема расположения точек отбора в окрестностях с. Бясь-Кюэль, Молочно-товарная ферма (МТФ) «Ампардаах», Горный улус (площадка 1 – лиственный лес, площадка 2 – гарь лиственный)

Fig. 1. Sites for soil sampling near the Byes-Kyuel dairy farm in Ampardakh, Gorny Ulus: Site 1 – larch forest; Site 2 – burnt larch forest

Площадка 1 (рис. 2) – на нетронutom пожаром участке лиственного леса брусничного с можжевельником (N 62°40'10,79", E 127°02'00,49"), в 150 м к северо-востоку от МТФ «Ампардаах», Горный район, пологий участок водораздела. Дре-востой из *Larix cajanderi* с сомкнутостью крон 0,6, средняя высота 8–10 м. Максимальная вы-сота 20 м, минимальная 2,5 м. В подлеске обильно *Juniperus communis* высотой 1,2–1,5 м. Опи-сание травяно-кустарничкового покрова приве-дено в табл. 1. Лишайниково-моховой покров с по-крытием 30 %, из них *Aulacomnium turgidum*, *Dis-lichium capillaceum* – 20, *Peltigera aphthosa* – 10 %.

Площадка 2 (рис. 3) – в гари лиственного леса с иван-чаем (N 62°39'53,70", E 127°02'05,39"), в 100 м к юго-востоку от МТФ «Ампардаах», Гор-ный район, водораздел, пологий склон северо-западной экспозиции с углом наклона 1–2°, ми-крорельеф очень неровный, много ям. Дре-востой из *Larix cajanderi* с сомкнутостью крон 0,4, вы-сота 5–7 м. Единично *Betula pendula*, высота 1,5 м. Описание травяно-кустарничкового покрова при-ведено в табл. 2. Мохово-лишайниковый покров с покрытием 40 %, из них *Ceratodon purpureus* – 15, *Peltigera aphthosa* – 25 %.

Для изучения состава и свойств почв были выполнены следующие аналитические исследо-

вания: рН водный, гранулометрический состав (пирофосфатный метод в модификации Качин-ского), содержание гумуса по Тюрину с титри-метрическим окончанием, гидролитическая кис-лотность, обменные катионы [35, 36]. Описания травяной растительности выполнены с использо-ванием шкалы обилия Браун-Бланке. Названия



Рис. 2. Лиственный лес брусничный с можжевельником (площадка 1)

Fig. 2. Unburned natural larch forest with lingonberry and juniper (Site 1)

Таблица 1
Описание травяно-кустарничковой
растительности лиственничного
леса (площадка 1)

Table 1
Description of herbaceous shrub vegetation
in larch forest (Site 1)

Вид	Обилие	Высота, см	Фенофаза
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	4*	10	Вег.
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	1	5–10	Вег.
<i>Rosa acicularis</i>	2	30	Вег.
<i>Pyrola asarifolia</i>	2	15	Вег.
<i>Linnaea borealis</i>	1	10	Вег.
<i>Arctous erythrocarpa</i>	1	10–12	Вег.
<i>Bromopsis karavaevii</i>	+	60	Отмир.
<i>Poa pratensis</i>	+	55	Отмир.
<i>Calamagrostis lapponica</i>	+	50	Отмир.
<i>Capex supina</i>	1	25	Вег.
<i>Sanguisorba officinalis</i>	+	40	Отмир.
<i>Artemisia tanacetifolia</i>	+	10	Вег.
<i>Atragene sibirica</i>	+	50	Отмир.
<i>Aquilegia parviflora</i>	+	20	Отмир.

Примечание. * – баллы по шкале обилия Браун-Бланке: 1 – 1–5 %, 2 – 5–20 %, 3 – 20–50 %, 4 – 50–75 %, 5 – более 75 %.

Notes: * – Brown-Blancke abundance scale: 1 – 1–5 %; 2 – 5–20 %; 3 – 20–50 %, 4 – 50–75 %; 5 – more than 75 %.

видов даны согласно конспекту флоры Азиатской России [37]. Для сходства видового разнообразия видового состава контрольного леса и гари применен коэффициент Серенсена–Чекановского.



Рис. 3. Гарь лиственничного леса (площадка 2)
Fig. 3. Burnt larch forest (site 2)

Таблица 2
Описание травяно-кустарничковой
растительности лиственничной
гари (площадка 2)

Table 2
Description of a burnt larch forest
with herbaceous and shrubby vegetation (Site 2)

Вид	Обилие	Высота, см	Фенофаза
<i>Chamerion angustifolium</i>	4	40–45	Отмир.
<i>Calamagrostis langsdorffii</i>	2	60–70	Отмир.
<i>Bromopsis karavaevii</i>	1	80	Отмир.
<i>Rosa acicularis</i>	1	25	Вег.
<i>Sanguisorba officinalis</i>	1	60–70	Отмир.
<i>Artemisia tanacetifolia</i>	1	10	Вег.
<i>Poa pratensis</i>	+	55	Отмир.
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	+	5–10	Вег.
<i>Vacinium uliginosum</i>	+	20	Вег.
<i>Carex supina</i>	+	15	Вег.
<i>Phlox sibirica</i>	+	10	Вег.
<i>Viola mauritii</i>	+	5	Вег.
<i>Vicia cracca</i>	+	30	Вег.
<i>Polygonum rigidum</i>	+	20	Вег.

Результаты и обсуждение

Исследованные палевые суглинистые почвы в естественном состоянии имеют относительно дифференцированный профиль: под подстилкой формируется небольшой грубогумусовый горизонт, сменяющийся слабоосолоделым горизонтом; ниже расположен иллювиально-карбонатный горизонт Вса.

Площадка 1. Лиственничный контроль. Разрез Р-02.23 (рис. 4) был вскрыт в брусничном лиственничнике с можжевельником на водоразделе. Уровень протаивания почвы в конце теплого периода составил 130 см. Микрорельеф неровный, слабоволнистый, приствольные повышения, трещины. Морфологическое строение профиля (см. рис. 4): О (0–2)–ОТ (2–7/11)–АЕ (7/11–12/14)–В (12/14–19/28)–Вса (19/28–40/47)–ВСа (40/47–83)–ВС(С)₁(83–130). Тип почвы: мерзлотная палевая слабоосолодевшая. Почва характеризуется формированием относительно мало-



Рис. 4. Профиль ненарушенной палево-слабоосолоде-
лой почвы под лиственничным лесом (площадка 1)

Fig. 4. The profile of disturbed pale soil under unburnt natural larch forest (site 1)

мощного (5–9 см) торфяного слоя на поверхности почвы с высокой потерей при прокаливании и отсутствием минерального гумусового горизонта, под органогенным слоем можно выделить небольшой переходный легкосуглинистый слабоосолоделый горизонт белесоватой окраски, постепенно сменяющийся среднесуглинистым не вскипающим буроватым горизонтом В, верхняя линия иллювиально-карбонатного слоя. Вся чуть более светлого оттенка находится достаточно высоко – 19/28 см.

Почвы имеют слабокислую реакцию в верхней части профиля до 19/28 см – pH водной вытяжки 5,1–6,3, и щелочную в нижних – pH 7,6–8,3 (табл. 3). Содержание гумуса в переходном осолодевшем горизонте достаточно высокое и достигает 8,4 % за счет высокого содержания кор-



Рис. 5. Профиль палево-криотурбированной послепо-
жарной почвы под лиственничной гарью (площадка 2)

Fig. 5. The profile of pale, cryoturbated post-fire pale soil (site 2)

ней и органических остатков, при движении вниз по профилю наблюдается резкое снижение содержания гумуса до 0,8–1,8 %. Степень насыщенности увеличивается с глубиной.

Площадка 2. Лиственничная гарь. Разрез P-01.23 был вскрыт под иван-чаевым послепожарным сообществом на месте лиственничника. Пожар, прошедший здесь, датируется 2021 г. Подстилка полностью выгоревшая, фрагментарная, количество валежа высокое. Степень силы лесного пожара – IV-V [38]. Ранее отмечалось, что в не тронутых пожарами лесах глубина сезонного протаивания достигает 130 см, тогда как в послепожарной почве уровень залегания многолетней мерзлоты составил в сентябре 165 см, т. е. наблюдается увеличение глубины деятельного слоя почвы на 35 см. Но то, насколько меняется данный уровень, как

Таблица 3

Физико-химические свойства исследованных палевых почв Горного улуса

Table 3

Physical and chemical properties of soils studied in Gorny Ulus

Номер разреза	Мощность, см	pH _{водн}	Гумус, %	Обменные катионы, ммоль/100 г		Гидролитическая кислотность, ммоль/100 г	Степень насыщенности, %	Сумма частиц <0,01 мм,%
				Ca ²⁺	Mg ²⁺			
Площадка 1. Лиственный контроль								
P-02.23	2–7	5,10	84,57*	56,25	25,00	51,40	61,3	–
	7–12	5,54	8,38	15,50	9,13	8,65	74,0	27,2
	12–19	6,34	1,84	11,00	8,00	1,90	90,9	37,2
	19–40	8,10	1,20	10,75	7,50	–	–	37,2
	40–83	8,31	0,95	9,38	7,25	–	–	38,4
	83–100	7,62	0,82	9,00	6,50	–	–	36,8
Площадка 2. Лиственная гарь								
P-01.23	0–2	6,70	22,90*	35,00	13,75	3,05	94,1	–
	2–10	5,71	3,17	11,88	8,75	6,38	76,4	44,8
	10–50	7,17	1,17	11,50	9,63	0,73	96,7	44
	50–82	8,16	0,87	9,50	7,38	–	–	34,4
	82–165сугл	8,28	1,04	10,25	5,50	–	–	36
	82–165 песок	7,82	0,12	2,25	1,75	–	–	11,5

Примечание. * – приведено значение потерь при прокаливании.

Note: * – Ignition loss.

показали исследования, не сильно зависит от характера почвообразующей породы. Морфологическое строение профиля (рис. 5): Оао, рir (фрагм.) (0/17-2/18)–[A-EВ]tr (2/18-10/14)–[A-Bf] tr (10/14-50/65)–Bca,@ (50/65-82/90)–BC(C)@_⊥ (82/90-165). Тип почвы: палевая криотурбированная послепожарная. Наблюдается двучленность почвообразующей породы – в среднесуглинистой толще обнаруживаются линзы песка. Профиль несет в себе признаки послепожарной деградации. Поверхность очень неровная, есть смывы, потеки, трещины, вывалы. Верхний горизонт и подстилка представляют собой фрагментарный пирогенный слой толщиной около 1–2 см. Ниже в верхней части минеральной толщи мы можем наблюдать турбированные горизонты – фрагменты гумусового в осолоделом и иллювиальном горизонтах. При этом турбация вызвана как пирогенными, так и криогенными процессами. Ниже 50 см наблюдаются признаки криотурбации в виде характерного вихреватого рисунка из суглинистых и песчаных фрагментов. Линия вскипания находится на уровне около 50 см, что ниже, чем в почве контроля. Возможно, это связано с переувлажнением почвы.

Почва тяжелосуглинистая в верхней части, среднесуглинистая в средней, в нижней части с суглинком встречаются супесчаные и песчаные фрагменты. Потеря при прокаливании в пирогенном слое составила 22,9 %, что почти в 3 раза ниже, чем в органогенном слое ненарушенной почвы. Реакция среды в опаленном органогенном слое – 6,7, что выше, чем в органогенных горизонтах контрольного лиственного леса. Такое уменьшение кислотности в верхней части профиля подтверждают и другие исследования [39, 40]. Турбации вызвали неравномерность в распределении содержания гумуса в минеральной толще, которое в зависимости от места отбора варьирует, но не в широком диапазоне (от 0,1 до 3,2 %). Почва насыщена основаниями.

Стоит отметить, что в первый год после пожара из-за деградации подстилки, отмирания древостоя, таяния мерзлоты и высвобождения большого количества влаги суглинистые почвы быстро достигли полной влагоемкости, что в свою очередь из-за резкого уменьшения связности и пластичности тяжелого по гранулометрическому составу грунта привело к повсеместному обвалу деревьев и появлению многочисленных вы-

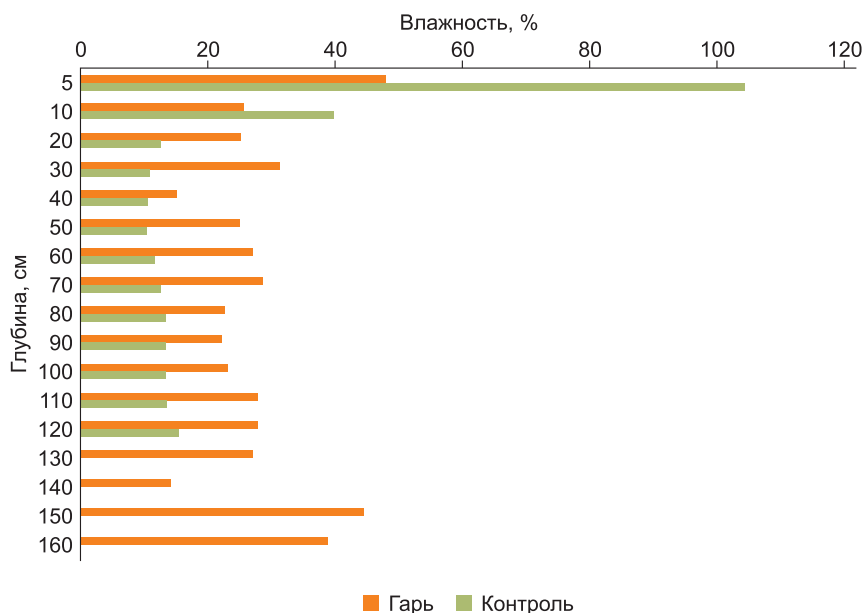


Рис. 6. Распределение влажности по профилю исследованных почв

Fig. 6. Distribution of investigated soil moisture along the profile

валов, ям и трещин на поверхности почвы. А вот в лиственничниках на песках такого наблюдается гораздо меньше [41], т. е. в этом плане песчаные грунты более устойчивы к послепожарному переувлажнению пожара.

На второй год после пожара влажность послепожарной палевой почвы стала гораздо меньше, приблизившись к показателям контроля. В верхних 10 см фиксируется небольшое иссушение из-за малого количества осадков в летний период и отсутствия подстилки с ее водоудерживающей способностью. Но при движении вниз по профилю содержание влаги становится выше почти в 1,5–2 раза (рис. 6).

Заключение

Постпирогенные изменения в профиле почвы, как показали наши исследования, могут быть вызваны не только непосредственным влиянием горения и нагрева поверхности почвы во время пожара, но и изменением условий формирования почвы, повлекшим за собой изменение ее свойств и строения почвы.

Например, к первому типу изменений можно отнести деградацию подстилки и органогенного слоя во время пожара. Так как особенностью лесных почв Якутии является отсутствие полноценного гумусового минерального горизонта, то обычно во время сильного пожара деградация затрагивает весь органо-аккумулятивный слой

почвы. Образовавший пирогенный слой, состоящий из продуктов горения, подщелачивает верхние слои почвы и характеризуется пониженным содержанием органического углерода.

Второй тип изменений связан с трансформацией водно-температурного режима почв. Известно, что уничтожение деревьев и подстилки в условиях близкого залегания многолетнемерзлых пород вызывает таяние мерзлоты и в некоторых случаях деградацию ледового комплекса. В нашем случае уровень протаивания на второй год после пожара показал увеличение на 21 % по сравнению с контролем.

Высвобожденная из мерзлоты влага насыщает почву, влияя в первую очередь на ее физические свойства. При этом на плохо дренируемых суглинистых почвах в период их временного переувлажнения увеличивается валеж деревьев за счет снижения механического сцепления корней деревьев с грунтом. Низкая устойчивость деревьев обусловлена особенностью формирования корневой системы лиственниц на мерзлотных грунтах, где типично их приповерхностное расположение. После пожаров нарушаются условия аэрации почвы, что приводит к изменению их окислительно-восстановительного режима. Усиливаются признаки криотурбации в профиле почвы, что особенно заметно в почвах с двучленным строением.

При формировании на суглинистых почвообразующих породах почва более подвержена

постпирогенной эрозии, связанной со смывом и турбацией в условиях переувлажнения, по сравнению с почвами песчаных областей, которые больше подвержены ветровой эрозии в условиях полного пирогенного разрушения подстилки и органогенных слоев. Такая деградация в свою очередь создает для почв особые условия среды, влияющие на функционирование почв.

Исследования растительности в начальной стадии восстановления после пожара показали, что гари активно заселяются видами-пирофитами (*Chamerion angustifolium*, *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid). Видовое разнообразие на листовничном контроле выше (19 видов), чем на гари (17 видов). Коэффициент сходства Серенсена–Чекановского составил 0,44, что показало низкую степень сходства видовых составов листовничного контроля и гари.

Список литературы / References

1. Тарабукина В.Г., Саввинов Д.Д. *Влияние пожаров на мерзлотные почвы*. Новосибирск: Наука; 1990. 120 с.

Tarabukina V.G., Savvinov D.D. *The impact of fires on permafrost soils*. Novosibirsk: Nauka; 1990. 120 p. (In Russ.)

2. Тарабукина В.Г., Шумилов Ю.В. Пирогенная трансформация лесных почв в условиях криолитозоны. В кн.: Бахмет О.Н., Ахметова Г.В. (ред.) *Продуктивность и устойчивость лесных почв: Материалы III Международной конференции по лесному почвоведению, г. Петрозаводск, 7–11 сентября 2009 г.* Петрозаводск: КарНЦ РАН; 2009. С. 112–116.

Tarabukina V.G., Shumilov J.V. Pyrogenous transformation of forest soils in the conditions of cryolithozone. In: *Productivity and resistance of forest soils: Proceedings of the 3rd International forest soil science conference, Petrozavodsk, September 7–11, 2009*. Petrozavodsk: Karelian Research Centre of RAS; 2009, pp. 112–116.

3. Мергелов Н.С. Постпирогенная трансформация почв и запасов почвенного углерода в предтундровых редколесьях Колымской низменности: каскадный эффект и обратные связи. *Известия РАН. Серия географическая*. 2015;(3):129–140. <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-3-129-140>

Mergelov N.S. Post-pyrogenic transformation of soils and soil carbon stocks in sub-tundra woodlands of Kolyma lowland: a cascading effect and feedbacks. *Izvestiya RAN. Seriya Geograficheskaya*. 2015;(3):129–140. (In Russ.) <https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-3-129-140>

4. Desyatkin A., Fedorov P., Filippov N., Desyatkin R. Climate change and its influence on the active layer depth in Central Yakutia. *Land*. 2021;10(1):1–3. <https://doi.org/10.3390/land10010003>

5. Jones B.M., Grosse G., Arp C.D., et al. Recent Arctic tundra fire initiates widespread thermokarst development. *Scientific Reports*. 2015;5(1):1–13. <https://doi.org/10.1038/srep15865>

6. Yanagiya K., Furuya M. Post-wildfire surface deformation near Batagay, Eastern Siberia, detected by L-band and C-band InSAR. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*. 2020;125(7):e2019JF005473. <https://doi.org/10.1029/2019JF005473>

7. Fedorov A.N. Permafrost landscape research in the northeast of Eurasia. *Earth*. 2022;3(1):460–478. <https://doi.org/10.3390/earth3010028>

8. Desyatkin R., Okoneshnikova M., Ivanova A., et al. Dynamics of vegetation and soil cover of pyrogenically disturbed areas of the northern taiga under conditions of thermokarst development and climate warming. *Land*. 2022;11(9):1594. <https://doi.org/10.3390/land11091594>

9. Sofronov M.A., Volokitina A.V., Kajimoto T., et al. Zonal peculiarities of forest vegetation controlled by fires in Northern Siberia. *Eurasian Journal of Forest Research*. 2000;1:51–59.

10. Desyatkin R.V., Desyatkin A.R. The effect of increasing active layer depth on changes in the water budget in the cryolithozone. *Eurasian Soil Science*. 2019;52(11):1447–1455. <https://doi.org/10.1134/S1064229319110036>

11. Добровольский Г.В. *Деградация и охрана почв*. М.: Издательство МГУ; 2002. 654 с.

Dobrovolskiy G.V. *Soil degradation and protection*. Moscow: Moscow State University Publishing House; 2002. 654 p. (In Russ.)

12. Dymov A.A., Dubrovsky Y.A., Gabov D.N. Pyrogenic changes in iron-illuvial podzols in the middle taiga of the Komi Republic. *Eurasian Soil Science*. 2014;47(2):47–56. <https://doi.org/10.1134/S1064229314020045>

13. Зайдельман Ф.Р., Шваров А.П. *Пирогенная и гидротермическая деградация торфяных почв, их агроэкология, песчаные культуры земледелия, рекультивация*. М.: Издательство МГУ; 2002. 168 с.

Zaydelman F.R., Shvarov A.P. *Pyrogenic and hydrothermal degradation of peat soils, their agroecology, sand crops, recultivation*. Moscow: Moscow State University Publishing House; 2002. 168 p. (In Russ.)

14. Краснощеков Ю.Н. Влияние пирогенного фактора на серо-гумусовые почвы сосновых лесов в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории. *Сибирский лесной журнал*. 2014;(2):43–52.

Krasnoshchekov Yu.N. Pyrogenic impact on gray humus soils of pine forests in the Central ecological zone of the Baikal Lake natural territory. *Siberian Journal of Forest Science*. 2014;(2):43–52. (In Russ.)

15. Чевычелов А.П. Пирогенез и постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв. *Сибирский экологический журнал*. 2002; 9(3):273–277.

Chevychelov A.P. Pyrogenesis and postpyrogenic changes of peculiarities and composition of cryomorphous soils. *Siberian Journal of Ecology*. 2002;9(3):273–277. (In Russ.)

16. Shur Y.L., Jorgenson M.T. Patterns of permafrost formation and degradation in relation to climate and ecosystems. *Permafrost and Periglacial Processes*. 2007; 18(1):7–19. <https://doi.org/10.1002/ppp.582>
17. Петров Д.Г. Пирогенные почвы бореальных и субарктических областей России: динамика свойств и информационная роль: Автореф. дис. ... канд. географ. наук. М.; 2023. 28 с.
- Petrov D.G. Pyrogenic soils of boreal and sub-arctic regions of Russia: dynamic of properties and informational role: Abstr. ... Diss. Cand. Sci., Moscow; 2023. 28 p. (In Russ.)
18. Прокушкин С.Г., Богданов В.В., Прокушкин А.С. и др. Послепожарное восстановление органического вещества в напочвенном покрове лиственничников криолитозоны центральной Эвенкии. *Известия РАН. Серия биологическая*. 2011;2:227–234.
- Prokushkin S.G., Bogdanov V.V., Prokushkin A.S., et al. Post-fire restoration of organic substance in the ground cover of the larch forests in permafrost zone of Central Evenkia. *Biology Bulletin*. 2011;38(2):183–190. <https://doi.org/10.1134/S1062359011020129>
19. Карпель Б.А., Короходкина В.Г. Изменение почвенных условий после пожаров. В кн.: Щербаков И.П. (ред.) *Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса*. Новосибирск: Наука; 1979. С. 75–87.
- Karpel B.A., Korokhodkina V.G. Changes in soil conditions after fires. In: Shcherbakov I.P. (ed.) *Forest fires in Yakutia and the it impact on the nature of the forest*. Novosibirsk: Nauka; 1979, pp. 75–87. (In Russ.)
20. Тарабукина В.Г. Пирогенез и его влияние на экологическое состояние почв северной тайги. В кн.: Саввинов Д.Д. (ред.) *Прикладная экология Севера: опыт проведенных исследований, современное состояние и перспективы: Материалы Международной научно-практической конференции, г. Якутск, 20–21 марта 2003 г.* Якутск: Институт прикладной экологии Севера АН РС(Я); 2003. С. 174–177.
- Tarabukina V.G. Pyrogenes and its impact on the ecological condition of the soils of the northern taiga. In: Savvinov D.D. (ed.) *Applied ecology of the North: experience of research, current state and prospects: Proceedings of the International scientific-practical conference, Yakutsk, March 20–21, 2003*. Yakutsk: Institute of Applied Ecology of the North of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia); 2003, pp.174–177. (In Russ.)
21. Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review. *Oecologia*. 2005;143:1–10. <https://doi.org/10.1007/s00442-004-1788-8>
22. Tsibart A.S., Gennadiev A.N. The influence of fires on the properties of forest soils in the Amur River basin (the Norkii Reserve). *Eurasian Soil Science*. 2008; 41(7):686–693. <https://doi.org/10.1134/S1064229308070028>
23. Startsev V.V., Dymov A.A., Prokushkin A.S. Soils of postpyrogenic larch stands in Central Siberia: Morphology, physicochemical properties, and specificity of soil organic matter. *Eurasian Soil Science*. 2017;50(8): 885–897. <https://doi.org/10.1134/S1064229317080117>
24. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3: многолетние данные. Выпуск 24 Якутская АССР. Книга 1, Части 1–6. Смирнова Н.С. (ред.). Л.: Гидрометеиздат; 1989. 607 с.
- Scientific and applied reference book on the climate of the USSR. Series 3: Long-term data. Issue 24 Yakut ASSR. Book 1, Parts 1–6*. Smirnova N.S. (ed.). Lenin-grad: Gidrometeoizdat; 1989. 607 p. (In Russ.)
25. Погода в Бердигестяхе. Погода и климат. http://www.pogodaiklimat.ru/history/24758_2.htm. (дата обращения: 01.06.2024).
- Weather in Berdigestyakh. Weather and climate. http://www.pogodaiklimat.ru/history/24758_2.htm. (accessed: 01.06.2024).
26. Стручков А.А., Николаев А.А. Оценка лесопожарного состояния Горного улуса Республики Саха (Якутия). *Вестник СВФУ. Серия «Науки о земле»*. 2021;2(22):22–32.
- Struchkov A.A., Nikolaev A.A. Assessment of the forest fire condition of Gorny District, Sakha Republic (Yakutia). *Vestnik of North-Eastern Federal University. Earth Sciences*. 2021;2(22):22–32. (In Russ.)
27. Щербаков И.П. *Лесной покров Северо-Востока СССР*. Новосибирск: Наука; 1975. 343 с.
- Shcherbakov I.P. *Forest cover of the North-East USSR*. Novosibirsk: Nauka; 1975. 343 p. (In Russ.)
28. Андреев В.Н., Галактионова Т.Ф., Перфильева В.И., Щербаков И.П. *Основные особенности растительного покрова Якутской АССР*. Якутск: ЯФ СО АН СССР; 1987. 156 с.
- Andreev V.N., Galaktionova T.F., Perfilova V.I., Shcherbakov I.P. *The main features of the vegetation cover of the Yakut ASSR*. Yakutsk: YAF SB of the USSR Academy of Sciences; 1987. 156 p. (In Russ.)
29. *Национальный атлас почв Российской Федерации*. Под общ. ред. С.А. Шобы. М.: Астрель; 2011. 631 с.
- National Atlas of soils of the Russian Federation*. Shoba S.A. (ed.). Moscow: Astrel; 2011. 631 p. (In Russ.)
30. Еловская Л.Г. *Классификация и диагностика мерзлотных почв Якутии*. Якутск: ЯФ СО АН СССР; 1987. 172 с.
- Elovskaya L.G. *Classification and diagnostics of permafrost soils of Yakutia*. Yakutsk: YAF SB of the USSR Academy of Scienc; 1987. 172 p. (In Russ.)
31. *Полевой определитель почв России*. М.: Почвенный институт им. В.В. Докучаева; 2008. 182 с.
- Field guide for Russian Soils*. Moscow: Dokuchaev Soil Science Institute; 2008. 182 p. (In Russ.)
32. Еловская Л.Г., Коноровский А.К., Кузнецов Х.А. и др. Систематический список почв таежной зоны Якутии и их диагностические признаки. В кн.: Еловская Л.Г. (ред.) *Почвы долин рек Лены и Алдана*. Якутск: Якутское книжное издательство; 1965. С. 34–53.
- Elovskaya L.G., Konorovskiy A.K., Kuznetsov Kh.A., et al. Systematic list of soils in the taiga zone of Yakutia

and their diagnostic characteristics. In: Elovskaya L.G. (ed.) *Soils of the valleys of the Lena and Aldan Rivers*. Yakutsk: Yakutsk Publishing House; 1965, pp. 34–53. (In Russ.)

33. Зольников В.Г., Еловская Л.Г., Тетерина Л.В., Черняк Е.И. *Почвы Вилюйского бассейна и их использование*. М.: Издательство АН СССР; 1962. 204 с.

Zolnikov V.G., Elovskaya L.G., Teterina L.V., Chernyak E.I. *Soils of the Vilyui River's basin and their use*. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR; 1962. 204 p. (In Russ.)

34. Desyatkin R.V., Lesovaya S.N., Okoneshnikova M.V., Zaitseva T.S. Palevye (pale) soils of Central Yakutia: Genetic specificity, properties, and classification. *Eurasian Soil Science*. 2011;44(12):1304–1314. <https://doi.org/10.1134/S1064229311120027>

35. Аринушкина Е.В. *Руководство по химическому анализу почв*. М.: Издательство Московского университета; 1970. 487 с.

Arinushkina E.V. *Handbook for the Chemical Analysis of Soils*. Moscow: Moscow State University Publishing House; 1970. 487 p. (In Russ.)

36. Качинский Н.А. *Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения*. М.: Издательство АН СССР; 1958. 191 с.

Kachinskii N.A. *Mechanical and microaggregate composition of soil, methods of investigation*. Moscow: Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR; 1958. 91 p. (In Russ.)

37. Конспект флоры Азиатской России: Сосудистые растения. Байков К.С. (ред.). Новосибирск: Издательство СО РАН; 2012. 640 с.

Abstract of flora of Asian Russia: Vascular plants. Baikov K.S. (ed.). Novosibirsk: Publishing House of the SB RAS; 2012. 640 p. (In Russ.)

38. Матвеев П.М., Матвеев А.М. *Лесная пирология*. Красноярск: СибГТУ; 2002. 316 с.

Matveev P.M., Matveev A.M. *Forest pyrology*. Krasnoyarsk: Siberian State Technological University; 2002. 316 p. (In Russ.)

39. Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Направленность изменения лесных почв Приамурья под воздействием пирогенного фактора. *Вестник Московского университета. Серия 5: География*. 2009;(3):66–74.

Tsibart A.S., Gennadiev A.N. Trend of forest soils transformation under the influence of pyrogenic factor in the Amur River region. *Moscow University Bulletin. Series 5, Geography*. 2009;(3):66–74. (In Russ.)

40. Гынинова А.Б., Сымпилова Д.П. Изменение свойств дерново-лесных почв под влиянием пожаров. В кн.: *Почвы Сибири, их использование и охрана*. Новосибирск: Наука; 1999. С. 120–124.

Gyninova A.B., Sympilova D.P. Changes in the properties of sod-forest soils under the influence of fires. In: *Soils of Siberia, their use and protection*. Novosibirsk: Nauka; 1999, pp. 120–124. (In Russ.)

41. Десяткин Р.В., Николаева М.Х., Иванова А.З. и др. Влияние крупных лесных пожаров 2021 года на растительность и почвы на территории распространения легких почвообразующих пород Центральной Якутии. *Бюллетень Почвенного института имени В.В. Докучаева*. 2024;(118):231–275. <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2024-118-231-275>

Desyatkin R.V., Nikolaeva M.Ch., Ivanova A.Z., et al. The impact of 2021 large forest fires on vegetation and soils, on the territory of distribution of light soil-forming rocks in Central Yakutia. *Dokuchaev Soil Bulletin*. 2024;(118):231–275. (In Russ.) <https://doi.org/10.19047/0136-1694-2024-118-231-275>

Об авторах

ДЕСЯТКИН Роман Васильевич, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-1289-5433>, ResearcherID: K-5281-2018, Scopus Author ID: 6507832825, SPIN: 7430-6386, e-mail: rvdes@ibpc.ysn.ru

ИВАНОВА Александра Зуевна, младший научный сотрудник, 89248654037, <https://orcid.org/0000-0002-8501-6807>, ResearcherID: J-6741-2018, Scopus Author ID: 57216969934, SPIN: 5813-5880, e-mail: madalexia@mail.ru

ДЕСЯТКИН Алексей Романович, научный сотрудник, PhD, <https://orcid.org/0000-0002-9597-999X>, ResearcherID: G-1918-2016, Scopus Author ID: 160215-000377, SPIN: 3785-1391, e-mail: desyatkinar@rambler.ru

НИКОЛАЕВА Майя Христофоровна, младший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-0160-2295>, ResearcherID: N-6732-2019, Scopus Author ID: 34875605400, SPIN: 1966-3134, e-mail: mayan34@yandex.ru

ФИЛИППОВ Николай Васильевич, инженер-исследователь, <https://orcid.org/0000-0003-0463-3123>, ResearcherID: J-6803-2018, Scopus Author ID: 57202088215 SPIN: 6514-0955, e-mail: finiva88@mail.ru

Вклад авторов

Десяткин Р.В. – руководство исследованием, разработка концепции, администрирование проекта, верификация данных, редактирование рукописи; **Иванова А.З.** – проведение исследования, администрирование и верификация данных, создание черновика рукописи, редактирование рукописи; **Десяткин А.Р.** – проведение исследования, верификация данных, создание черновика, редактирование рукописи; **Николаева М.Х.** – проведение исследования, редактирование рукописи; **Филиппов Н.В.** – проведение исследования, редактирование рукописи

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

About the authors

DESYATKIN, Roman Vasilievich, Dr. Sci. (Biol.), Chief Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-1289-5433>, ResearcherID: K-5281-2018, Scopus Author ID: 6507832825, SPIN: 7430-6386, e-mail: rvdes@ibpc.ysn.ru

IVANOVA, Alexandra Zuevna, Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-8501-6807>, ResearcherID: J-6741-2018, Scopus Author ID: 57216969934, SPIN: 5813-5880, e-mail: madalexia@mail.ru

DESYATKIN, Alexey Romanovich, PhD, Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-9597-999X>, ResearcherID: G-1918-2016, Scopus Author ID: 160215-000377, SPIN: 3785-1391, e-mail: desyatkinar@rambler.ru

NIKOLAEVA, Maya Christophorovna, Junior Researcher, <https://orcid.org/0000-0002-0160-2295>, ResearcherID: N-6732-2019, Scopus Author ID: 34875605400, SPIN: 1966-3134, e-mail: mayan34@yandex.ru

FILIPPOV, Nikolai Vasilievich, Research Engineer, <https://orcid.org/0000-0003-0463-3123>, ResearcherID: J-6803-2018, Scopus Author ID: 57202088215, SPIN: 6514-0955, e-mail: finiva88@mail.ru

Authors' contribution

Desyatkin R.V. – supervision, conceptualization, project administration, validation, writing – review & editing; **Ivanova A.Z.** – investigation, data curation, validation, writing – original draft, writing – review & editing; **Desyatkin A.R.** – investigation, validation, writing – original draft, writing – review & editing; **Nikolaeva M.Ch.** – investigation, writing – review & editing; **Filippov N.V.** – investigation, writing – review & editing

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию / Submitted 07.08.2024

Поступила после рецензирования / Revised 16.10.2024

Принята к публикации / Accepted 22.10.2024