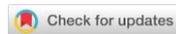


УДК 630*43:631.485:574 (571.56-191.2)

DOI: 10.19047/0136-1694-2024-118-231-275



Ссылки для цитирования:

Десяткин Р.В., Николаева М.Х., Иванова А.З., Десяткин А.Р., Оконешникова М.В., Филиппов Н.В. 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. Вып. 118. С. 231-275. DOI: 10.19047/0136-1694-2024-118-231-275

Cite this article as:

Desyatkin R.V., Nikolaeva M.Ch., Ivanova A.Z., Desyatkin A.R., Okoneshnikova M.V., Filippov N.V., 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, V. 118, pp. 231-275, DOI: 10.19047/0136-1694-2024-118-231-275

Благодарность:

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

Acknowledgments:

The research was carried out within the state assignment of Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (theme No. 0297-2021-0026, reg. No. АААА-А21-121012190036-6).

Влияние крупных лесных пожаров 2021 года на растительность и почвы на территории распространения легких почвообразующих пород Центральной Якутии

© 2024 г. Р. В. Десяткин^{1*}, М. Х. Николаева^{1**},
А. З. Иванова^{1***}, А. Р. Десяткин^{1,2****},
М. В. Оконешникова^{1*****}, Н. В. Филиппов^{1*****}

¹Институт биологических проблем криолитозоны СО РАН, Россия,
677980, Якутск, пр. Ленина, 41,

* <https://orcid.org/0000-0002-1289-5433>, e-mail: rvdes@ibpc.ysn.ru,

** <https://orcid.org/0000-0002-0160-2295>, e-mail: mayan34@yandex.ru,

*** <http://orcid.org/0000-0002-8501-6807>, e-mail: maddalexia@mail.ru,

**** <https://orcid.org/0000-0002-9597-999X>, e-mail: desyatkinar@rambler.ru,

**** <https://orcid.org/0000-0002-9841-2112>, e-mail: mvok@yandex.ru,
***** <https://orcid.org/0000-0003-0463-3123>, e-mail: finiva88@mail.ru.

²Институт мерзлотоведения им. П.И. Мельникова СО РАН, Россия,
677010, Якутск, ул. Мерзлотная, 36.

Поступила в редакцию 20.07.2023, принята к публикации 07.02.2024

Резюме: Изучено влияние катастрофических лесных пожаров 2021 г. на растительный покров и почвы средней тайги на территории распространения легких почвообразующих пород Центральной Якутии. Полученные результаты показали кардинальную динамику видового разнообразия и продуктивности напочвенного покрова лиственничных и сосновых лесов в естественном состоянии и на горелых участках. Запас надземной фитомассы травяно-кустарничкового покрова в контрольном лиственничнике и сосняке более чем в 5 и 10 раз соответственно превышает таковой на горях. Проведенные работы выявили влияние лесных пожаров на морфологическое строение (формирование пирогенного слоя, проявление пиро- и криотурбаций), глубину протаивания, водный режим мерзлотных почв под лиственничными и сосновыми лесами и на горях однотипных лесов на легких почвообразующих породах криолитозоны в первый год после сильных пожаров. Почвы в районе исследования представлены преимущественно мерзлотными подзолами иллювиально-железистыми. Выявлено увеличение глубины залегания многолетнемерзлых пород в данных почвах, поднятие уровня верховодки, уменьшение кислотности в верхней части профиля. Было обнаружено интенсивное золообразование вследствие горения опада и подстилки. Дана характеристика современного состояния растительного и почвенного покрова.

Ключевые слова: гарь; запас надземной фитомассы; мерзлотные почвы; морфологические признаки; физико-химические свойства; трансформация.

The impact of 2021 large forest fires on vegetation and soils, on the territory of distribution of light soil-forming rocks in Central Yakutia

© 2024 R. V. Desyatkin^{1*}, M. Ch. Nikolaeva^{1**},
A. Z. Ivanova^{1***}, A. R. Desyatkin^{1,2****},
M. V. Okoneshnikova^{1*****}, N. V. Filippov^{1*****}

¹Institute for Biological Problems of Cryolithozone SB RAS,
41 Lenin Ave., Yakutsk 677980, Russian Federation,

* <https://orcid.org/0000-0002-1289-5433>, e-mail: rvdes@ibpc.vsn.ru,
** <https://orcid.org/0000-0002-0160-2295>, e-mail: mayan34@yandex.ru,
*** <http://orcid.org/0000-0002-8501-6807>, e-mail: madalexia@mail.ru,
**** <https://orcid.org/0000-0002-9597-999X>, e-mail: desyatkinar@rambler.ru,
***** <https://orcid.org/0000-0002-9841-2112>, e-mail: mvok@yandex.ru,
***** <https://orcid.org/0000-0003-0463-3123>, e-mail: finiva88@mail.ru.

²Melnikov permafrost institute, SB RAS,
36. Merzlotnaya Str., Yakutsk 677010, Russian Federation.

Received 20.07.2023, Accepted 07.02.2024

Abstract: The influence of catastrophic forest fires in 2021 on the vegetation cover and soils of the middle taiga on the territory of distribution of light soil-forming rocks of Central Yakutia has been studied. Obtained results showed the cardinal dynamics of species diversity and productivity of the larch and pine forests surface vegetation in their natural state and in burnt areas. The stock of grass-shrub cover aboveground phytomass on the control larch and pine forests is higher for 5 and 10 times than that in the burnt areas, respectively. The work carried out revealed the effect of forest fires on the morphological structure (formation of pyrogenic layer, manifestation of pyro- and cryoturbations), the depth of thawing, the water regime of permafrost soils under larch and pine forests on control and burnt sites in the first year after strong fires. The soils in the study area are predominantly permafrost illuvial-ferruginous podzols. The study revealed an increase in the permafrost table depth of these soils, an increase in the level of ground water, and a decrease in acidity in the upper part of the profile. Intense ash formation was found due to the burning of litter. The characteristic of the current state of vegetation and soil cover is given.

Keywords: burned area; above-ground phytomass stock; permafrost soils; morphological features; physical and chemical properties; transformation.

ВВЕДЕНИЕ

Якутия относится к регионам с повышенной плотностью пожаров и высокой горимостью лесов. В 2021 г. на территории республики выгорело более 8 млн га леса при лесопокрытой площади около 131 млн га, что сделало их самыми масштабными в настоящее время и значительно увеличило площадь гарей с полностью уничтоженным древостоем. О роли огня как фактора отбора растений в подлеске, травяно-кустарничковом и лишайниково-моховом покровах мерзлотной области даны сведения у многих

исследователей. Назывались растения, популяции, которые проявляют доминирующее положение при послепожарной сукцессии зарастания гарей – иван-чай, вейник Лангсдорфа (Сукачев, 1912; Аболин, 1929; Тюлина, 1957; Чугунова, 1964), из кустарников – ольха кустарниковая, береза тощая и кустарниковая, рододендрон даурский (Тюлина, 1962; Щербаков, 1964). Сведения о лесовозобновлении на гарях в среднетаежной подзоне Якутии опубликованы в работах якутских лесоведов (Исаев, 1993, 2000; Тимофеев и др., 1994; Исаев и др., 2004, Лыткина, 2005а, 2005б, 2010).

Пирогенез является одной из главных причин, изменяющих морфологические и физические свойства лесных почв в коротком промежутке времени (Добровольский, 2002; Зайдельман, Шваров, 2002; Дымов и др., 2014; Краснощеков, 2014). При сильных пожарах выгорают подстилка, органогенные горизонты, корни и внутрипочвенный детрит, резко нарушается направление процессов накопления и преобразования органики (Прокушкин и др., 2011). При близком залегании многолетней мерзлоты уничтожение растительности и подстилки огнем нарушает гидротермический режим почв и приводит к увеличению глубины протаивания, иссушению или переувлажнению почвы (Sofronov et al., 2000). Эти процессы в конкретных условиях корректируются в зависимости от положения в микро-, мезо- и макрорельефе, как правило, сопровождаются уменьшением транспирационного расхода влаги, повышением фильтрации влаги вследствие деградации подстилки и увеличением плотности грунта (Карпель, Короходкина, 1979; Тарабукина, 2003; Тарабукина, Саввинов, 1990; Чевычелов, 2002; Desyatkin et al., 2022). В условиях криолитозоны пожары нарушают мерзлотный режим и приводят к активизации криогенной деградации почв, что требует разработки особых подходов их охраны и исследований (Тарабукина, Шумилов, 2009; Мергелов, 2015; Desyatkin A. et al., 2021).

Послепожарные изменения в почвах на легких породах в пределах криолитозоны не изучены, имеются данные по пирогенным почвам сосняков вне мерзлотной области (Дымов и др., 2014; Шахматова, 2015; Ильичев и др., 2011; Валевиц, Мерзляков, 2021; и др.). Почвы Коми, Бурятии, Западной Сибири, сформированные на легких породах, в профиле имеют пирогенную полициклич-

ность. В этих регионах после уничтожения лесной подстилки и маломощного органогенного горизонта при лесных пожарах, почвообразование фактически запускается заново, обуславливая в будущем слоистое строение профиля. Оно связано с тем, что почвы без защитной функции растительности и ее корневой системы не устойчивы к склоновой (Габбасова и др, 2019) и ветровой эрозии (Desyatkin et al., 2021), склонны к интенсивному переотложению.

Исследование влияния пожара на физико-химические свойства почвы (рН, гумус, обменные основания, степень насыщенности) на настоящий момент приводит к достаточно неоднозначным, иногда даже противоположным результатам (Цибарт, Геннадиев, 2008). При изучении пирогенных почв Якутии различными исследователями отмечалось как уменьшение, так и увеличение содержания органического углерода на разных этапах постпирогенного функционирования (Мергелов, 2015), увеличение обменного кальция и магния, увеличение доли фракции крупной пыли из-за дезинтеграции песка (Чевычелов, Шахматова, 2018), увеличение рН (Тарабукина, 2003; Тарабукина, Саввинов, 1990).

В настоящей статье приводятся результаты изучения влияния огневой активности на трансформацию растительности и мерзлотных почв на легких породах Центральной Якутии. Полученные материалы представляют собой банк данных для проведения мониторинга происходящих изменений в растительности и почвах с первого года после выгорания при восстановительной сукцессии растительности изучаемой территории.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ

Район исследования с геоморфологической точки зрения находится в пределах Центрально-Якутской аллювиальной равнины с преобладанием современных криогенных и эоловых процессов и входит в Приленско-Виллойский район Среднесибирской перигляциальной области (Унифицированная ..., 2010). Почвообразующие породы представлены древнеаллювиальными песками, супесями и легкими суглинками русловой и прирусловой фации, часто осложненными вторичными эоловыми формами рельефа (Катасонова, Толстов, 1963; Бойцов, Шепелев, 1976). Повсеместно развиты сглажено-бугристые эоловые формы рельефа, хорошо

закрепленные лесной растительностью. Мониторинговые участки для контроля влияния крупных пожаров на лесные экосистемы заложены в окрестностях с. Асыма Горного района РС (Я) (рис. 1).

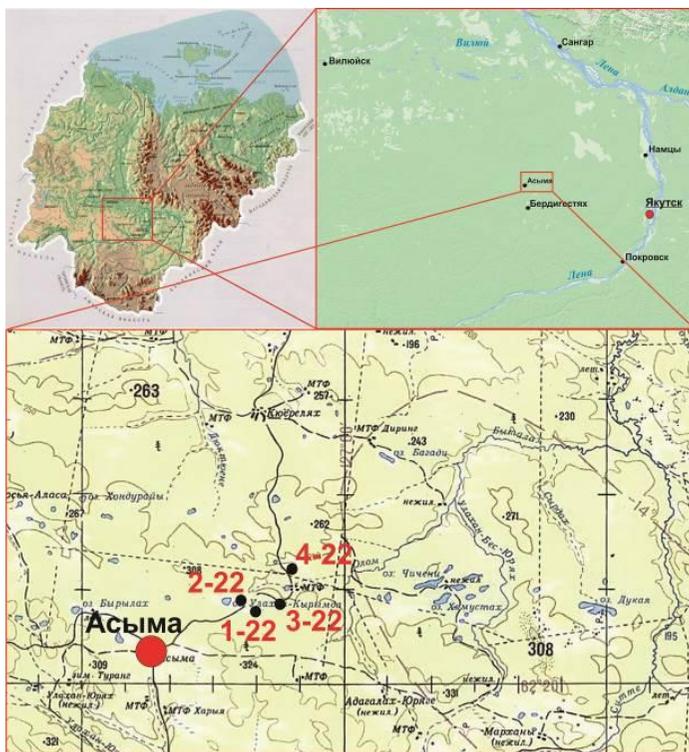


Рис. 1. Район исследований.
Fig. 1. Research area.

В июне 2022 г. по результатам рекогносцировочных исследований выбраны 4 контрольных мониторинговых участка (рис. 2): площадка 1 – контроль на нетронutom пожаром багульниково-брусничном лиственничнике; площадка 2 – горелый участок однотипного леса (лиственничная гарь 2021 г.); площадка 3 – контроль на нетронutom огнем участке в сосновом толочнянково-

бруснично-лишайниковом лесу; площадка 4 – горелый участок
однотипного леса (сосновая гарь 2021 г.).



Площадка 1

Площадка 2



Площадка 3

Площадка 4

Рис. 2. Общий вид контрольных площадок.

Fig. 2. General view of control sites.

Изученная территория по лесорастительному районированию относится к Центральному Якутскому аласно-среднетаежному округу (Щербаков, 1975). По геоботаническому районированию исследованная территория относится к Центрально-Якутской среднетаежной подпровинции, которая характеризуется при общем преобладании лиственничных лесов, преимущественно брусничных и багульниковых, развитием крупных массивов сосновых лесов (Андреев и др., 1987). На всех мониторинговых участках проведены описания растительности, учет надземной фитомассы травяного покрова проведен методом укосов на стандартных площадках размером 1×1 м в 3-кратной повторности в начале второй половины июля. Растительные образцы высушены до воздушно-сухого состояния, разобраны по видам, определена масса каждого вида. Описания травянистой растительности выполнены с использованием шкалы обилия Браун-Бланке. Названия видов даны согласно конспекту флоры Азиатской России (Конспект ..., 2012). Изучение запасов и состава опада проведено с отбором образцов на контрольных участках и гарях с помощью рамок 50×50 см в 3-кратной повторности.

По почвенно-географическому районированию исследованная территория относится к Центрально-Якутской почвенной провинции холодных мерзлотных почв Восточно-Сибирской мерзлотно-таежной почвенно-климатической области (Национальный ..., 2011). По почвенной карте – это в основном зона распространения палевых типичных и осолоделых почв, но в действительности на изученной территории также широко распространены почвы, сформированные на кислых песчаных породах эолово-аллювиального происхождения. В районе закладки мониторинговых площадок почвенный покров представлен песчаными мерзлотными подзолами иллювиально-железистыми под лиственничными лесами и боровыми слабоподзоленными почвами под сосняками (Единый ..., 2014).

Почвенные исследования в полевых условиях проводились в июле, августе, сентябре 2022 г., разрезы закладывались на каждой контрольной площадке с целью изучения полных профилей почв. На каждой площадке заложены и детально описаны разрезы до верхней границы многолетнемерзлых пород или верховодки, про-

изведен отбор образцов по генетическим горизонтам. Для изучения состава и свойств почв были выполнены стандартные аналитические исследования: гранулометрический состав (пирофосфатный метод в модификации Качинского), рН водный, содержание гумуса по Тюрину с титриметрическим окончанием, обменные катионы, гидролитическая кислотность (Аринушкина, 1970; Качинский, 1958). В почвах также определялись две формы железа: аморфная – методом Тамма, и несиликатная – методом Мера-Джексона.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Площадка 1, лиственничник багульниково-брусничный (контроль)

Разрез 1-22 (62°23'56.0" N, 126°48'18.4" E), заложен 02.08.2022 г. Центральная часть Лено-Вилуйского водораздела, в 9 км северо-восточнее от села Асыма, в южной части бассейна ручья Кырымда, притока третьего порядка р. Ситте. Нетронутый пожарами багульниково-брусничный лиственничник. Древостой из *Larix cajanderi* (сомкнутость крон 0.6), средняя высота 10–12 м. В подлеске единично *Salix bebbiana*, высота 30 см. *Betula platyphylla* сомкнутость 0.2, высота 3–5 м. В подросте единично отмечена *Pinus sylvestris*, высота до 70 см. Описание травяно-кустарничкового покрова приведено в таблице 1. Лишайниково-моховый покров с покрытием 70%, из них *Dicranum undulatum* – 50%, *Cladonia stellaris* – 15%, *Cetraria laevigata* – 5%. Запас надземной фитомассы травяного покрова составляет 1.261 т/га (табл. 2). На контрольном участке наибольшую фитомассу имеют типично лесные виды, растения-виоленты (*Vaccinium vitis-idaea* – 0.44, *Vaccinium uliginosum* – 0.55 т/га). Согласно шкале природной пожарной опасности для летнего времени по А.П. Яковлеву (Яковлев, 1979), лиственничник багульниково-брусничный относится ко II классу (высокопожароопасные, тип напочвенных горючих материалов – хвоевой).

Микрорельеф неровный, слабовыраженный полигонально-трещиноватый. Мощность лесной подстилки в нетронутых пожарами лиственничных лесах небольшая, редко превышает 2 см. Степень разложения очень низкая, в нижней части под мохо-

вым очесом переходит в тонкий грубогумусовый или перегнойный горизонт, границу перехода иногда уловить достаточно сложно из-за маломощности органогенных слоев (общая мощность подстилочно-торфяного горизонта с учетом опада – 4 см). Запас опада 3.55 т/га. Фракционный состав здесь характеризуется резким преобладанием доли хвои (49%), в меньшей степени шишками, ветками и листьями.

Таблица 1. Описания травяно-кустарничковой растительности контрольных площадок

Table 1. Descriptions of grass-shrubbery vegetation of control plots

Вид	Обилие	Высота, см	Фенофаза
Оп. 2 Лиственничник багульниково-брусничный			
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	4*	10	Вег.
<i>Ledum palustre</i>	2	30	Вег.
<i>Vacinium uliginosum</i>	2	20	Вег./пл.
<i>Rosa acicularis</i>	1	10	Вег.
<i>Empetrum nigrum</i>	1	10	Вег.
<i>Calamagrostis langsdorffii</i>	2	20–45	Цв./вег.
<i>Equisetum pratense</i>	1	20	Вег.
<i>Agrostis trinii</i>	1	45	Цв.
<i>Carex sp.</i>	1	20	Вег.
<i>Crepis tectorum</i>	+	40	Цв.
<i>Sanguisorba officinalis</i>	1	45	пл.
<i>Minuartia laricina</i>	+	12	Цв.
<i>Acetosa thyrsoiflora</i>	+	45	Пл.
Оп. 1 Лиственничная гарь			
<i>Ledum palustre</i>	2	15	Вег.
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	1	3-5	Вег.
<i>Vacinium uliginosum</i>	+	10	Вег.
<i>Chamerion angustifolium</i>	3	10–15	Вег.
<i>Calamagrostis langsdorffii</i>	1	40	Цв.
<i>Equisetum arvense</i>	1	15	Вег.
<i>Rubus arcticus</i>	1	5	Вег.
<i>Carex sp.</i>	1	10	Вег.
<i>Poa pratensis</i>	+	50	Цв.
<i>Sanguisorba officinalis</i>	+	30	Цв./пл.

Продолжение таблицы 1
Table 1 continued

Вид	Обилие	Высота, см	Фенофаза
Оп. 3. Сосняк толокнянково-бруснично-лишайниковый			
<i>Ledum palustre</i>	2	40–45	Вер.
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	2	5	Вер.
<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	3	5–10	Вер.
<i>Carex sp.</i>	1	20	Вер.
Оп. 5 Сосновая гарь			
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	+	5	Вер.
<i>Vaccinium uliginosum</i>	1	10	Вер.
<i>Rosa acicularis</i>	2	20	Вер.
<i>Empetrum nigrum</i>	1	10	Вер.
<i>Ledum palustre</i>	+	15	Вер.
<i>Chamerion angustifolium</i>	1	20	Вер.
<i>Calamagrostis lansdorffii</i>	2	50–60	Вер./цв.
<i>Equisetum arvense</i>	2	20	Вер.
<i>Carex sp.</i>	1	20	Вер.
<i>Crepis tectorum</i>	+	25	Цв./пл.
<i>Sanguisorba officinalis</i>	1	45	пл.
<i>Minuartia laricina</i>	+	10	Цв.
<i>Anemone sylvestris</i>	+	10	Вер.
<i>Eremogone saxatilis</i>	+	30	Пл.
<i>Aquilegia parviflora</i>	+	30	Цв.

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

Note. * – Brown-Blanquet abundance scale scores: 1 – 1–5%, 2 – 5–20%, 3 – 20–50%, 4 – 50–75%, 5 – более 75%.

Запас надземной фитомассы травяного покрова составляет 1.261 т/га (табл. 2). На контрольном участке наибольшую фитомассу имеют типично лесные виды, растения-виоленты (*Vaccinium vitis-idaea* – 0.44, *Vaccinium uliginosum* – 0.55т/га).

Глубина протаивания почвы в конце мая составляла 31 см, а в конце теплого периода (в первой декаде октября) – 183 см. Уровень верховодки в течение летнего периода находился на глубине: в мае – 27 см; в августе–начале октября – 100–110 см (рис. 3).

Морфологическое строение профиля: О (0–4 см) – АО (4–5/10 см) – Е/ЕВ (5/10–10/24 см) – ВВ (10/24–24/36 см) – В (24/36–42 см) – ВС/С (42–52/65 см) – С/АЕ' (52/65–67 см) – Сf/ВВ' (67–69/74 см) – С (69/74–98 см). Тип почвы: мерзлотный подзол иллювиально-железистый. Под небольшой подстилкой вскрывается грубогумусовый горизонт АО, который сменяется слегка осветленным горизонтом Е (согласно ЕГРПР, подзолистый горизонт обозначается индексом А₂). Ниже выделяется иллювиальный горизонт ВВ с охристыми пятнами. В профиле на глубине 50–60 см вскрывается погребенная почва такой же типовой принадлежности – встречаются фрагменты гумусового слоя и горизонта Е.

Таблица 2. Запас надземной фитомассы травяно-кустарничкового покрова контрольных площадок

Table 2. Supply of above-ground phytomass of grass-shrubbery cover control plots

№	Вид	Надземная фитомасса (в.с. в.), т/га
Лиственничник багульниково-брусничный		
1	<i>Calamagrostis langsdorffii</i>	0.02
2	<i>Carex sp.</i>	0.1
3	<i>Vaccinium uliginosum</i>	0.55
4	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	0.44
5	<i>Empetrum nigrum</i>	0.13
6	<i>Equisetum arvense</i>	0.007
7	<i>Sanguisorba officinalis</i>	0.01
8	<i>Antennaria dioica</i>	0.004
	Всего:	1.261
Лиственничная гарь		
9	<i>Calamagrostis langsdorffii</i>	0.09
10	<i>Carex sp.</i>	0.009
11	<i>Chamerion angustifolium</i>	0.1
12	<i>Ledum palustre</i>	0.02
13	<i>Equisetum arvense</i>	0.001
14	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	0.002
	Всего:	0.222

Продолжение таблицы 2
Table 2 continued

№	Вид	Надземная фитомасса (в.-с. в.), т/га
Сосняк толокнянково-бруснично-лишайниковый		
15	<i>Arctostaphylos uva-ursi</i>	1.36
16	<i>Ledum palustre</i>	0.13
17	<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	0.08
	Всего:	1.57
Сосновая гарь		
19	<i>Calamagrostis langsdorffii</i>	0.07
20	<i>Carex sp.</i>	0.01
21	<i>Vaccinium uliginosum</i>	0.006
22	<i>Equisetum arvense</i>	0.02
23	<i>Crepis tectorum</i>	0.003
24	<i>Chamerion angustifolium</i>	0.01
	Всего:	0.119

Почва песчаная с преобладанием фракции крупного и среднего песка (табл. 3). По данным гранулометрического состава наблюдается слабая дифференциация по илу – максимальное накопление приблизительно находится на уровне горизонтов ВF и В. Реакция среды при движении вниз по профилю колеблется от кислой до слабокислой (рН 4.6–6.0, табл. 4). Потеря при прокаливании в грубогумусовом горизонте составляет 29%, в минеральной толще содержание гумуса низкое и почти не превышает 0.5%, распределение гумуса по профилю имеет тенденцию к уменьшению при движении вниз, но снова слегка увеличивается на уровне погребенных слоев. Прослойка органики на глубине 50–60 см имеет относительно высокое содержание гумуса – до 4%. Почвы не насыщены основаниями в верхней половине профиля и слабо насыщены в нижней на фоне небольшого общего содержания обменных кальция и магния.

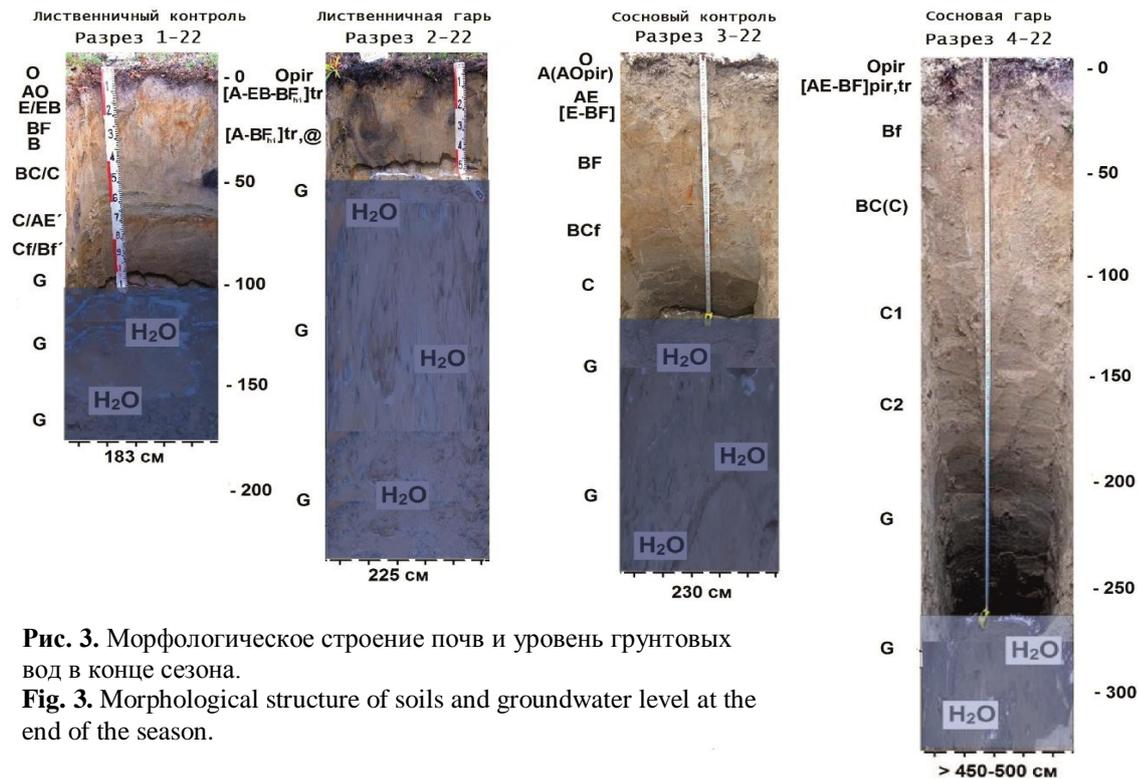


Рис. 3. Морфологическое строение почв и уровень грунтовых вод в конце сезона.
Fig. 3. Morphological structure of soils and groundwater level at the end of the season.

Таблица 3. Гранулометрический состав почв
Table 3. Granulometric composition of soils

Номер разреза	Мощность, см	Гигро- влага, %	Удель- ный вес	Количество частиц (%) с диаметром, мм						Сумма частиц <0.01 мм
				1–0.25	0.25– 0.05	0.05– 0.01	0.01– 0.005	0.005– 0.001	<0.001	
Лиственничники										
Р-1.22 (конт- роль)	5–10	0.27	2.60	52.5	39.1	3.3	0.8	0.4	3.9	5.1
	10–24	0.20	2.65	59.3	32.1	3.9	0.6	1.2	2.9	4.7
	24–42	0.07	2.60	55.8	35.2	1.9	1.0	3.0	3.1	7.1
	42–52	0.13	2.60	55.7	39.6	0.8	0.2	0.4	3.3	3.9
	52–67	0.73	2.60	30.7	57.7	1.5	2.2	1.8	6.1	10.1
	67–69	0.32	2.65	58.1	34.9	1.0	1.2	4.5	0.3	6.0
	69–98	0.21	2.65	64.3	31.6	0.2	1.5	0.4	2.0	3.9
	Орг. просл.	0.22	2.55	41.5	45.6	2.5	1.0	3.0	6.4	10.4
Р-2-22 (гарь)	2(10)–3(15) темн. пятна	1.10	2.60	61.8	31.5	0.2	1.0	0.8	4.7	6.5
	2(10)–3(15) светл. пятна	0.13	2.60	60.3	35.0	0.2	0.8	0.4	3.3	4.5
	3(15)–50 темн. пятна	1.25	2.50	54.2	33.0	0.8	2.1	1.8	8.1	12.0
	3(15)–50 светл. пятна	0.42	2.65	69.0	27.2	0.7	0.4	0.2	2.5	3.1

Продолжение таблицы 3
Table 3 continued

Номер разреза	Мощность, см	Гигро- влага, %	Удель- ный вес	Количество частиц (%) с диаметром, мм						Сумма частиц <0.01 мм
				1–0.25	0.25– 0.05	0.05– 0.01	0.01– 0.005	0.005– 0.001	<0.001	
Сосняки										
Р-3-22 (конт- роль)	2–8	0.30	2.60	56.9	35.6	1.6	0.4	2.0	3.5	5.9
	8–15	0.20	2.60	69.0	23.7	1.4	0.6	1.8	3.5	5.9
	15–62	0.20	2.60	64.8	29.7	1.2	0.6	0.4	3.3	4.3
	62–95	0.20	2.60	64.7	30.9	0.6	1.5	1.4	0.9	3.8
	95–135	0.20	2.60	61.0	32.3	2.4	0.6	0.6	3.1	4.3
Р-4-22 (гарь)	2–9	0.28	2.60	74.8	19.5	1.6	0.4	0.4	3.3	4.1
	9–34	0.14	2.60	72.9	19.1	1.0	3.6	1.1	2.3	7.0
	34–75	0.20	2.60	65.5	29.2	0.4	0.4	0.8	3.7	4.9
	75–100	0.20	2.60	71.2	19.8	1.5	3.6	0.6	3.3	7.5
	100–130	0.07	2.60	67.9	22.7	1.9	3.2	1.4	2.9	7.5

Таблица 4. Физико-химические свойства исследованных почв
Table 4. Physicochemical properties of soils

Номер разреза	Глубина отбора, см	рН _{водн}	Гумус, %, ППП*, %	Обменные катионы, ммоль/100 г		ГК**, ммоль /100 г	Степень насыщен- ности, %	Fe _{nc} (по Мера- Джексона)	Fe _a (по Тамму)
				Ca ²⁺	Mg ²⁺			мг/кг	
Лиственничники									
Р-1-22 (конт- роль)	4–5	4.64	29.21*	-	-	20.00	-	1546.46	1663.22
	5(10)– 10(24)	4.68	0.52	1.10	0.50	1.37	53.87	131.87	148.02
	10(24)– 24(36)	5.09	0.26	1.20	0.60	1.18	60.40	438.13	494.87
	24(36)–42	5.17	0.17	0.95	0.45	0.80	63.64	213.79	216.67
	42–52(65)	5.32	0.13	0.70	0.40	0.66	62.50	237.65	256.58
	52(65)–67	5.45	0.50	3.80	1.85	1.53	78.69	489.51	600.00
	67–69(74)	5.65	0.18	1.50	0.70	0.80	73.33	905.65	1045.24
	69(74)–98	5.96	0.11	1.25	0.55	0.61	74.69	213.26	233.54
Орг. просл.	5.22	4.06	6.65	2.15	4.71	65.14	1110.38	1247.92	

Продолжение таблицы 4
Table 4 continued

Номер разреза	Глубина отбора, см	рН _{водн}	Гумус, %, ППП*, %	Обменные катионы, ммоль/100 г		ГК**, ммоль /100 г	Степень насыщен- ности, %	Fe _{nc} (по Мера- Джексону)	Fe _a (по Тамму)
				Ca ²⁺	Mg ²⁺			мг/кг	
Лиственничники									
Р-2-22 (гарь)	0–2(10) риг	5.84	33.52*	-	-	45.90	-	-	-
	2(10)–3(15) темн. пятна	4.29	4.33	1.80	0.85	3.69	41.80	4353.84	4186.14
	2(10)–3(15) светл. пятна	4.25	2.16	2.20	0.95	5.73	35.47	274.73	291.02
	3(15)–50 темн. пятна	4.98	5.80	4.00	1.95	10.30	36.62	2244.93	2538.20
	3(15)–50 светл. пятна	4.19	0.14	0.85	0.40	0.83	60.10	200.15	215.55

Продолжение таблицы 4
Table 4 continued

Номер разреза	Глубина отбора, см	рН _{водн}	Гумус, %, ППП*, %	Обменные катионы, ммоль/100 г		ГК**, ммоль /100 г	Степень насыщен- ности, %	Fe _{nc} (по Мера- Джексону)	Fe _a (по Тамму)
				Ca ²⁺	Mg ²⁺			мг/кг	
Сосняки									
Р-3-22 (конт- роль)	1–2(3)	4.53	17.56*	2.70	0.65	7.11	32.03	-	-
	2(3)–4(8)	4.94	2.94	2.15	0.35	3.63	40.78	826.35	972.46
	4(8)–15(24)	4.70	0.77	0.65	0.30	2.16	30.55	516.71	537.31
	15(24)– 62(68)	5.04	0.14	0.73	0.47	1.01	54.30	841.90	807.50
	62(68)–95	5.44	0.10	1.05	0.45	0.61	71.09	160.76	162.85
	95–135	5.62	0.11	1.50	0.55	0,70	74,55	403.80	476.50

Продолжение таблицы 4
Table 4 continued

Номер разреза	Глубина отбора, см	рН _{воды}	Гумус, %, ППП*, %	Обменные катионы, ммоль/100 г		ГК**, ммоль /100 г	Степень насыщен- ности, %	Fe _{nc} (по Мера- Джексону)	Fe _a (по Тамму)
				Ca ²⁺	Mg ²⁺			мг/кг	
Сосняки									
Р-4-22 (гарь)	0–2p _{ir}	6.06	53.14*	-	-	-	-	-	-
	2–9(14)	4.88	1.74	1.00	0.45	2.07	41.19	5021.92	4510.98
	9(14)– 34(42)	4.63	0.19	0.35	0.18	0.85	38.41	294.12	278.09
	34(42)–75	4.80	0.10	0.93	0.27	0.75	61.54	95.67	85.61
	75–100	5.26	0.05	0.60	0.25	0.44	65.89	31.97	51.29
	100–130	5.34	0.05	0.58	0.27	0.43	66.41	38.87	30.68

Примечание. * – Приведено значение потери при прокаливании, ** – гидролитическая кислотность.

Note. * – The value of loss on ignition is given, ** – hydrolytic acidity.

Площадка 2, лиственничная гарь

Разрез 2-22 (62°24'1.2" N, 126°47'35.2" E), заложен 02.08.2022 г. Центральная часть Лено-Вилуйского водораздела, в 8.5 км северо-восточнее от села Асыма, в южной части бассейна ручья Кырымда, притока третьего порядка р. Ситте. Гарь 2021 г. на месте багульниково-брусничного лиственничника (Оп-1). Подстилка выгорела на всю свою небольшую мощность, затронув верхнюю часть грубогумусового горизонта, некоторые обугленные фрагменты сохранили свою структуру. Степень силы лесного пожара – IV–V (Матвеев, Матвеев, 2002). Количество валежа среднее.

Древостой из *Larix cajanderi* имеет невысокую сомкнутость – 25–30%, средняя высота молодых сосен 6–7 м. Подлесок представлен *Betula platyphylla* высотой 80–90 см с примесью *Salix bebbiana* высотой 80–100 см. Сомкнутость подлеска 10%. В подросте единично отмечена *Pinus sylvestris* высотой до 150 см. Описание травяно-кустарничкового покрова приведено в таблице 1. Лишайниково-моховый покров с покрытием 40%, из них *Marchantia polymorpha* – 20%, *Ceratodon purpureus* – 15%, *Cladonia stellaris* – 5%.

На начальной стадии зарастания лиственничной гари бурно развиваются виды-пирофиты (*Chamerion angustifolium*, *Marchantia polymorpha*). Запас общей надземной фитомассы травяно-кустарничкового покрова равен 0.222 т/га в воздушно-сухом весе (в.-с. в.), что в 5.6 раза ниже запаса надземной фитомассы травяного покрова на контрольном участке. По запасу надземной фитомассы *Chamerion angustifolium* имеет наибольшее значение (0.09 т/га) (табл. 2). Масса сгоревшей травяно-кустарничковой растительности на лиственничной гари составляет 1.04 т/га.

Верхний органогенный горизонт с опадом выгорел на всю свою небольшую мощность, затронув скопления корней и остатков растений в грубогумусовом горизонте и сформировав пирогенный горизонт Опр. Средняя мощность пирогенного слоя около 2 см (по трещинам больше), который включает обугленные фрагменты древесных растений. В слое высока доля фракции <1 мм (рис. 4), образующейся за счет интенсивной пирогенной дефрагментации растительных остатков, приводящей к образованию зо-

лы. В опаде полностью выгорели включения листьев, травы, коры и шишек. Масса пирогенного слоя на гари лиственничного леса оценивается в 3.88 т/га.

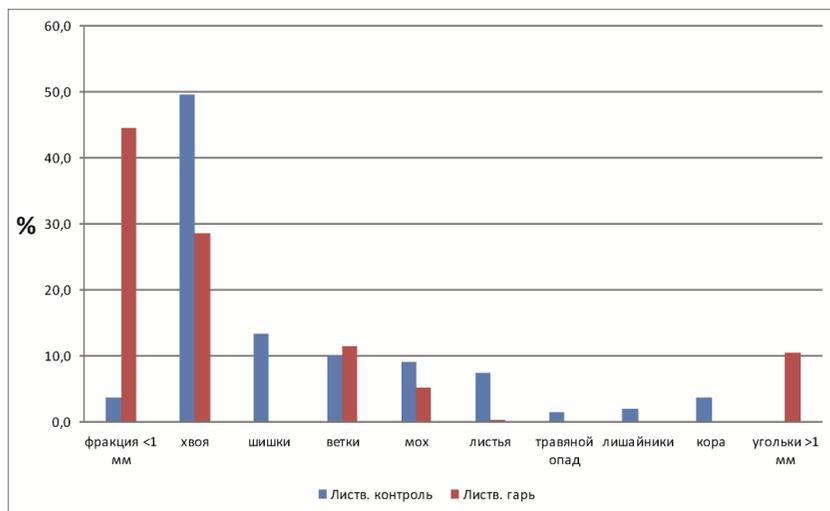


Рис. 4. Фракционный состав опада и пирогенного слоя в контроле и на гари лиственничника.

Fig. 4. Fractional composition of the litter and pyrogenic layer in the control and burnt larch forest.

Микрорельеф нарушенный, много вывалов. Глубина протаивания почвы в конце мая составляла 25–30 см, а в конце теплого периода – 225 см, при этом в профиле накапливается в зависимости от степени оттаивания почвы надмерзлотная верховодка, в начале лета с глубины 30, в конце лета – 55–70 см (рис. 3). Морфологическое строение профиля следующее: O_{pr} (0–2/10 см) – [A - EB - BFhi]tr (2/10–3/15 см) – [A - BFhi]tr,@ (3/15–50 см), ниже до мерзлоты почва залита водой. Тип почвы: подзол иллювиально-железистый постпирогенный криотурбированный. Профиль несет в себе признаки послепожарной деградации. Почва переувлажнена. Верхний горизонт и подстилка представляют собой слой из сгоревших остатков растений. В минеральной толще наблюдаются

признаки перемешивания – темноокрашенные пятна по всему профилю и осветленные фрагменты в верхней части. При этом турбации вызваны, возможно, как пирогенными, так и криогенными процессами.

Гранулометрический состав почвы преимущественно песчаный, встречаются скопления супеси в виде темных пятен. В нижней части ила больше, чем в средней (табл. 3). Потеря при прокаливании в опаленном пирогенном слое (O_{pir}) составляет 33.5%, реакция среды – 5.8, что выше, чем в органогенном горизонте почвы в контроле листовничника (табл. 4). Уменьшение кислотности в верхней части профиля подтверждает наблюдения некоторых исследователей, которые связывают это с тем, что зола нейтрализует органические кислоты (Гынинова, Сымпилова, 1999; Цибарт, Геннадиев, 2009; и др.). Турбации вызвали неравномерность в распределении содержания гумуса в минеральной песчаной толще, которое, в зависимости от влияния микрорельефа, достаточно сильно варьирует. Почва не насыщена основаниями.

Площадка 3, сосняк толокнянково-бруснично-лишайниковый (контроль)

Разрез Р-3-22(62°24'2.1" N, 126°52'6.0" E), 03.08.2022 г. Центральная часть Лено-Вилуйского водораздела, в 12 км северо-восточнее от села Асыма, в южной части бассейна той же реки. Сосняк толокнянково-бруснично-лишайниковый не тронутый недавним пожаром. Участок имеет признаки низового пожара, прошедшего более 5 лет назад, валеж единичный, древостой не пострадал во время ранних пожаров, процессы восстановления напочвенной растительности идут удовлетворительно. Древостой из *Pinus sylvestris* чистый, состав 10С. Сомкнутость крон 0.6. Средняя высота 10–15 м. Описание травяно-кустарничкового покрова приведено в таблице 3. Лишайниковый покров занимает 40% и состоит из *Cladonia arbuscula*, *Cladonia cornuta*. Исходя из шкалы природной пожарной опасности для летнего времени по Яковлеву (Яковлев, 1979), сосняк толокнянково-бруснично-лишайниковый относится к классу I (очень высокопожароопасные, лишайниковый тип горючих материалов).

В сосняке бруснично-толокнянково-лишайниковом запас

надземной фитомассы травяно-кустарничкового покрова составляет 1.57 т/га. Наибольший запас надземной фитомассы имеет *Arc-tostaphylos uva-ursi* (1.36 т/га). На втором месте – *Ledum palustre* с надземной фитомассой, равной 0.13 т/га. Наименьшую надземную фитомассу имеет *Vaccinium vitis-idaea* (0.08 т/га). Опад в основном состоит из хвои (50%), в меньшей степени из шишек, коры и веток. Запас опада в слабо затронутом пожарами сосняке составляет 2.22 т/га. Общая мощность подстилки и грубогумусового горизонта достигает максимум 3 см.

Микрорельеф ровный. Глубина протаивания почвы в конце мая составляла 50 см, а в конце теплого периода (в первой декаде октября) – 250 см. Уровень верховодки в течение летнего периода находилась на глубине: в мае – 30 см; в начале октября – 120 см (рис. 3). Морфологическое строение профиля: О (0–1 см) – АО(АОpиг) (1–2/3 см) – АЕфрагм (2/3–4/8 см) – [E-BF]tr (4/8–15/24 см) – Bf (15/24–62/68 см) – BCf (62/68–95 см) – C (95–135 см). Тип почвы: мерзлотная боровая слабооподзоленная поверхностно-турбированная, или, по классификации 2004 г., подзол иллювиально-железистый поверхностно-турбированный. В подстилке и органогенном горизонте есть пирогенные признаки в виде включений угольков и уменьшения мощности из-за горения. Оподзоленный горизонт – фрагментарный (при большем увлажнении лучше морфологически выделяется), немного смешан с иллювиальным горизонтом вследствие пожаров. Почвообразующая порода представлена эолово-аллювиальными слоистыми песчаными наносами светло-бежевого оттенка.

Анализ данных выявил, что верхний органогенный горизонт имеет реакцию среды около 4.5, ниже она постепенно увеличивается до 5.6 (табл. 4). Динамика среды почти без отрицательных пиков – небольшое уменьшение на общем фоне наблюдается в турбированном слое, что связано с сохранившимися фрагментами подзолистого горизонта в нем. Потеря при прокаливании в верхнем органогенном слое составляет 17.6%. Содержание гумуса в оподзоленном горизонте АЕ – 3%, в нижней части профиля гумуса мало. Почвы не насыщены основаниями в верхней части профиля и слабо насыщены – в нижней. Минимальные значения по степени насыщенности и накопления обменных катионов отмечаются в

горизонте [E-BF]tr.

Площадка 4, сосновая гарь

Разрез Р-4-22 (62°25'53.4" N, 126°54'1.9" E), заложен 03.08.2022 г. Центральная часть Лено-Вилуйского водораздела, в 15 км северо-восточнее от села Асыма, в южной части бассейна той же реки. Гарь сосняка толокнянково-бруснично-лишайникового 2021 г. Мезорельеф ровный, много вывалов и проплешин на местах, где подстилка сгорела полностью, обнажившийся песок имеет яркий охристо-красноватый оттенок. Древостой выгорел полностью, сохранился редкий жердняк. Степень силы лесного пожара – IV. Состав соснового древостоя чистый, 10С (*Pinus sylvestris*). Сомкнутость крон 0.2. Средняя высота 7–10 м. Описание травяно-кустарничкового яруса приведено в таблице 1.

На гари сосняка запас надземной фитомассы травяного покрова составил 0.119 т/га (табл. 2). Запас надземной фитомассы характерного вида послепожарной сукцессии *Chamerion angustifolium* равен 0.01т/га, на третьем месте после *Calamagrostis lansdorffii* (0.07т/га) и *Equisetum arvense* (0.02 т/га). Отмечено присутствие растения-эксплерента, нелесного синантропного вида (*Crepis tectorum*) с наименьшей надземной фитомассой (0.003 т/га). Запас надземной фитомассы травяного покрова на гари в 13.1 раза ниже, чем на контрольном участке (табл. 2). Масса сгоревшей травяно-кустарничковой растительности на сосновой гари оценивается в 1.45 т/га.

После уничтожения пожаром напочвенного покрова наблюдается развеивание остатков подстилки, золы ветром и обнажение минеральных слоев. В сформировавшемся из-за горения опада и органогенного слоя фрагментарном пирогенном горизонте (мощностью максимум до 2 см) увеличивается мелкая фракция за счет увеличения содержания золы (как и в листовничной гари), появляются угольки, резко снижается доля других фракций (рис. 5). Запас пирогенного слоя на участке в среднем составляет 1.82 т/га.

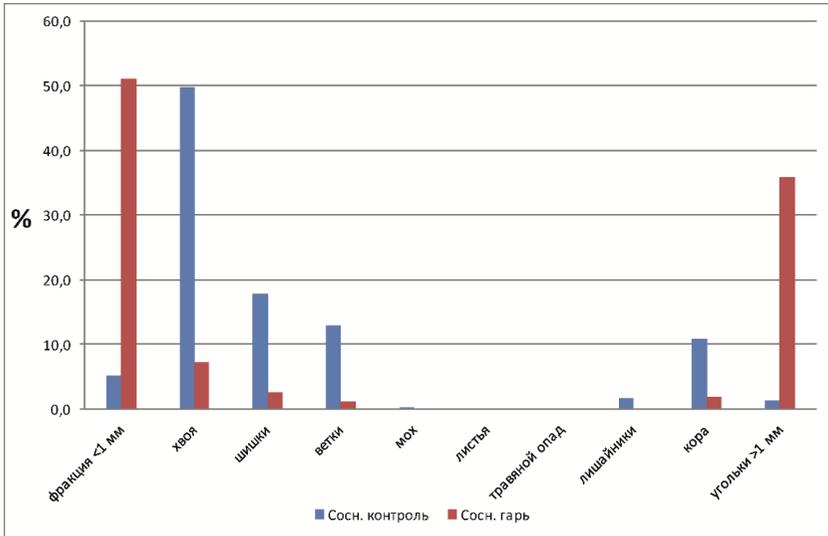


Рис. 5. Фракционный состав опада и пирогенного слоя в контроле и на гарь сосняка.

Fig. 5. Fractional composition of litter and pyrogenic layer in the control and burnt pine forest.

Микрорельеф неровный, мелкобугристый. Глубина протаивания почвы в конце мая составляла 50–60 см, а в конце теплого периода (в первой декаде октября) – более 450 см. Уровень верховодки в течение летнего периода находилась на глубине: в мае – 30 см; в начале октября – 265 см (рис. 3). Как правило, в таких почвах при зимнем промерзании сезонная мерзлота уже не смыкается с верхней границей многолетнемерзлых пород. Морфологическое строение профиля: O_{pir}(0–2 см) – [AE-BF]_{pir, tr} (2–9/14 см) – B_f (9/14–34/42 см) – BC(C) (34/42–75 см) – C₁ (75–100 см) – C₂ (100–130 см). Тип почвы: мерзлотная боровая слабооподзоленная постпирогенная почва, или, по классификации 2004 г., подзол иллювиально-железистый поверхностно-турбированный пирогенный. Под небольшим пирогенным слоем залегает нарушенный турбированный горизонт красновато-кирпичного цвета с еле заметными фрагментами оподзоленного горизонта. Сильное окисление до

трехвалентного железа связано с действием высоких температур во время пожаров, а также с воздействием экзогенных факторов (воздуха и влаги). Почвообразующая порода представлена эолово-аллювиальными слоистыми наносами светло-бежевого оттенка.

Почва песчаная, в золе (остатках подстилки и органогенного горизонта) реакция среды достигает значения рН 6.1 (слабокислая), ниже (в ожелезненном слое) – кислая (рН 4.8), еще ниже наблюдается постепенное увеличение реакции среды (от рН 4.6 до 5.3). Повышение рН почвы в верхней части связано с накоплением золы, потеря при прокаливании в золе составляет 53.1% (табл. 4). При этом содержание гумуса в верхнем нарушенном слое равно 1.7%, ниже данный показатель резко уменьшается и составляет 0.05–0.2%, что характерно для всех почв, сформированных на песчаных отложениях Центральной Якутии (Десяткин, 1984, 2008; Десяткин и др., 2009). Почва преимущественно не насыщена основаниями.

Лесные пожары – это мощный экологический фактор, вызывающий стрессовые трансформации растительного покрова и современного почвообразования охваченных огнем территорий. Последствия влияния огня многолики. Прежде всего, это уничтожение первоначального растительного покрова и запуск в последующем восстановительных сукцессий. При пожарах вместе с растительным покровом сгорают верхние органогенные горизонты почв, изменяя традиционные морфологические признаки лесных почв. При сгорании растительного материала лесов и почв освобождаются огромные объемы органического углерода, их производные, попадая в атмосферу, увеличивают содержание парниковых газов, а высвобожденные при этом зольные элементы, скапливаясь на поверхности земли, накладывают отпечаток на физико-химические свойства почв.

В растительном покрове наиболее существенные изменения между соседними вегетационными сезонами происходят в первых стадиях лесовозобновления. Далее скорость замедляется, что в целом типично для пирогенной динамики лесов криолитозоны (Лыткина, 2005б). На начальной стадии зарастания лиственничной гари отмечено активное развитие видов – пирофитов (*Chamerion angustifolium* с надземной фитомассой, равной 0.1 т/га, в 5 раз пре-

вышающей надземную фитомассу на контрольном участке, *Marchantia polymorpha* с проективным покрытием 20%). В отличие от гари, на контрольном участке наибольшую фитомассу имеют типично лесные виды, растения-виоленты (*Vaccinium vitis-idaea* – 0.44, *Vaccinium uliginosum* – 0.55 т/га). Запас надземной фитомассы травяного покрова на контрольном участке лиственничника багульниково-брусничного в 5.6 раза выше, чем на гари. И по видовому составу разнообразие выше на контрольном участке.

На гари сосняка запас надземной фитомассы характерного вида послепожарной сукцессии – *Chamerion angustifolium* – небольшой (0.01 т/га). Отмечено присутствие растения-эксплерента, не лесного синантропного вида (*Crepis tectorum*) с наименьшей надземной фитомассой (0.003 т/га). Запас надземной фитомассы травяного покрова на контрольном участке в 13.1 раза выше, чем на гари сосняка. При этом видовое разнообразие на гари выше, чем в контрольном сосняке.

Морфологические постпирогенные изменения в профиле почвы, вызванные непосредственным влиянием горения и нагрева поверхности почвы, четко наблюдаются сразу после пожаров. Они выражены в виде уничтожения лесной подстилки и органогенного слоя (рис. 6). В результате частого воздействия пожаров особенностью лесных почв криолитозоны является отсутствие полноценного гумусового горизонта, что было отмечено еще первыми исследователями почв региона А.А. Красюком (Красюк, 1927) и Р.А. Аболиным (Аболин, 1929). Этот феномен связан с частым уничтожением лесной подстилки (2–3 раза в столетие), источника формирования верхних органогенных и органо-минеральных горизонтов почв под лесной растительностью, и накладывает отпечаток на строение профиля почвы и ее типовую принадлежность.

На контрольном участке лиственничных лесов мерзлотный подзол иллювиально-железистый имеет следующее строение профиля: О (0–4 см) – АО (4–5/10 см) – Е/ЕВ (5/10–10/24 см) – ВF (10/24–24/36 см) – В (24/36–42 см) – ВС/С (42–52/65 см) – С/АЕ' (52/65–67 см) – Cf/BF' (67–69/74 см) – С (69/74–98 см). На гари лиственничных лесов строение профиля приобретает уже другую формулу: Оpиг (0–2/10 см) – [А - ЕВ - ВFhi]tr (2/10–3/15 см) – [А -

BFhi]tr,@ (3/15–50 см), ниже до поверхности мерзлоты почва насыщена водой.



Рис. 6. Сгоревшая лесная подстилка на поверхности почвы лиственничной гари и признаки постпирогенной турбации.

Fig. 6. Burnt forest litter on the surface of the larch burnt soil and signs of post-pyrogenic turbation.

Тип почвы меняется на подзол иллювиально-железистый постпирогенный криотурбированный. Как видно, характерные поверхностные горизонты типичных лесных почв после пожара исчезли, на их месте появился перемешанный с золой горизонт *Op_{ir}* (0–2/10 см), под которым залегают турбированные, сильно нарушенные остатки гумусового, *E_B* и *V_f* горизонтов без видимого участия иллювиального слоя. Тип почвы можно определить как подзол иллювиально-железистый постпирогенный криотурбированный.

На контрольном участке сосновых лесов мерзлотная боровая слабоподзоленая поверхностно-турбированная почва имеет формулу морфологического строения в виде: *O* (0–1 см) – *AO(AOp_{ir})* (1–2/3 см) – *AEфpaгm* (2/3–4/8 см) – [*E-BF*]tr (4/8–

15/24 см) – Bf (15/24–62/68 см) – BCf (62/68–95 см) – C (95–135 см). На гари сосновых лесов почва имеет следующее строение: Opir (0–2 см) – [AE-BF]pir,tr (2–9/14 см) – Bf (9/14–34/42 см) – BC(C) (34/42–75 см) – C₁ (75–100 см) – C₂ (100–130 см). И в этом случае исчез верхний органогенный горизонт, произошли заметные видоизменения поверхностных минеральных слоев почвы. Почву можно отнести к мерзлотной боровой слабоподзоленной постпирогенной.

Пирогенная дефрагментация живых растений и растительных остатков также сильно меняет фракционный состав подстилочного материала в сторону увеличения доли мелких частиц. При этом изменение состава в лиственничных лесах аналогично изменениям в сосняках. Но если в лиственничниках запасы опада несколько увеличиваются, то в сосняках на некоторых участках после пожаров наблюдается уменьшение запасов из-за ветровых процессов.

Данные, полученные при исследовании физико-химических свойств почв, показали, что изменения прежде всего касаются реакции среды (табл. 4). Из-за подщелачивания золой в верхней части профиля рН увеличивается, что подтверждалось ранее в работах многих исследователей. С развитием и восстановлением подстилки этот показатель, по литературным данным, как правило, снова снижается. Отсутствие значимых изменений других показателей связан с небольшим сроком функционирования почв в послепожарных условиях (первый год после крупного лесного пожара).

Еще одним из наиболее частых морфологических изменений можно считать возникновение признаков послепожарных турбаций в верхней части профиля, усиливающейся присутствием криогенеза (рис. 6.).

При пожаре в сосняке из-за сгорания лесной подстилки и под воздействием высоких температур верхний 10-сантиметровый слой мерзлотной боровой оподзоленной почвы приобрел яркий охристый оттенок вследствие окисления железа до трехвалентной формы (рис. 7). Для растений это очень неблагоприятно, так как формируется недостаток двухвалентного железа в питательной среде корнеобитаемого слоя, а железо в окисленной трехвалент-

ной форме недоступно растениям, по этой причине в первые годы после пожара они оказываются в стрессовом состоянии (Зонн, 1982). В лиственничном лесу интенсивность пожара, видимо, была слабее. При сгорании подстилки открытое пламя не сильно затронуло минеральную часть профиля подзола иллювиально-железистого – здесь сильного окисления железа не произошло (рис. 7). Увеличение содержания трехвалентной формы железа при пожарах отмечено при изучении магнитной восприимчивости в постпирогенных почвах – появлялась приповерхностная приуроченность наибольших значений этого показателя (Пискарева и др., 2019). Авторы при этом указывают, что эти изменения не стабильны во времени.



Рис. 7. Окисление железа в верхней части профиля.

Fig. 7. Iron oxidation in the upper part of the profile.

В почвах определялись две формы железа: аморфная форма методом Тамма и несиликатная форма методом Мера-Джексона (табл. 4). Считается, что соотношение этих форм железа характеризуется формулой: $Fe_{nc} - Fe_a = Fe_{окр}$, где $Fe_{окр}$ – это железо окристаллизованных соединений, но в данном случае разница показана

телей в большинстве образцов дала отрицательные значения. То есть происходит нарушение баланса экстракции, которое противоречит принципу аддитивности оксалатной (метод Тамма) и дитионитной (метод Мера-Джексона) вытяжек, и содержание аморфного железа становится больше несиликатного. В связи с этим некоторые авторы предлагают рассматривать извлекаемые из аморфных почв оксалаторастворимые соединения железа как количество железа (III), способного к образованию комплексов с активными органическими лигандами почв, обеспечивая подвижность Fe, то есть выделять их как самостоятельную группу соединений железа, которая может и не входить во фракцию “свободных” соединений, восстанавливаемых дитионитом (Водяницкий, Шоба, 2014; Бабанин и др., 1995).

Профильное распределение железа неравномерное и коррелирует с содержанием органического углерода – высокие значения отмечаются в органогенных, погребенных и турбированных слоях. Близкие по значению показатели аморфного и несиликатного железа (несмотря на отрицательный баланс) могут говорить, возможно, о низкой степени кристаллизации аморфных форм железа, что, невзирая на хорошую аэрацию и дренаж, можно назвать особенностью мерзлотных песчаных почв – такие значения фиксируются на контрольных участках. Но в почвах гарей видно, что прямо под пирогенным слоем в верхней минеральной части профиля, помимо увеличения содержания обеих форм железа, также можно отметить заметное повышение содержания “несиликатной” формы железа относительно “аморфной”. Что предполагает интенсификацию процесса кристаллизации железа в почвах при сильном тепловом воздействии во время пожара, особенно в почвах сосняков.

Изменений в гранулометрическом составе, которые упомянуты в работах других авторов, зафиксировано не было. Отмечается профильная неравномерность в гранулометрическом составе подзолов в листовничниках из-за крио- и пирогенных турбаций и сложного строения профиля с присутствием погребенных горизонтов.

Уничтожение огнем лесного полога, наземной растительности и верхних органогенных горизонтов, защищавших почвы от

прямого воздействия солнечных лучей, вызывало активизацию процесса сезонного протаивания мерзлотных почв на гарях. На нетронутых огнем территориях почвы оттаивали к сентябрю до 230–250 см, на гарях этот показатель к осени достигает 450–500 см. В почвах лиственных лесов максимальные сезонные глубины достигали 180 см, на гарях глубина протаивания на следующий год после пожара увеличивается до 230 см. Резкое увеличение глубины протаивания почв тронутых огнем территорий приводит к таянию верхних слоев многолетнемерзлых грунтов. Освобождаемые при этом запасы влаги приводят к накоплению надмерзлотной верховодки в почвах и меняют водный режим затронутых пожарами и прилегающих к ним территорий.

Установлено, что в следующем году после пожаров с началом протаивания сезонной мерзлоты все почвы, за счет накопления над мерзлотой верховодки, испытывают переувлажнение. В почвах лиственных лесов к октябрю надмерзлотная верховодка наблюдалась с глубины 1 м, а в почвах гарей – с глубины 50 см (рис. 3). В почвах сосновых лесов надмерзлотная верховодка занимала нижнюю половину профиля почв, при этом поверхностные слои песчаных почв испытывали недостаток влаги.

За счет увеличения глубины сезонного протаивания почв и освобождения влаги, ранее законсервированной мерзлотой, в почвах гарей на следующий год после пожаров резко повысились запасы влаги. Так, если в почвах не тронутых пожарами лиственных лесов в сентябре 2022 г. запас влаги составлял 16 660 м³/га, то на гари он повысился до 35 400 м³/га, в вариантах сосновых лесов соответственно 22 000 и 38 000 м³/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На территории распространения легких почвообразующих пород, где они залегают на многолетней мерзлоте без участия ледового комплекса, развитие термокарстовой деградации грунтов проявляется слабо. На этой территории уничтожение огнем растительного покрова и верхних органогенных слоев почв вызывают стрессовые трансформации видового разнообразия и продуктивности растительности, состава и свойств, а также гидротермического режима мерзлотных почв.

Исследования растительности в начальной стадии восстановления после пожара показали, что гари активно заселяются видами-пирофитами (*Chamerion angustifolium*, *Marchantia polymorpha* L. *Ceratodon purpureus* (Hedw.) Brid), при этом видовое разнообразие на контрольном участке лиственничника выше (13 видов), чем на гари (10 видов). А на гари сосняка видовое разнообразие выше (15 видов), чем в контрольном сосняке (4 вида). Запас надземной фитомассы травяно-кустарничкового покрова в контрольном лиственничнике и сосняке более чем в 5 и 10 раз соответственно превышает таковой на гарях.

Проведенные работы выявили влияние катастрофических лесных пожаров на морфологическое строение (формирование пирогенного слоя), глубину протаивания, температурный и водный режимы мерзлотных почв под лиственничными и сосновыми лесами на легких почвообразующих породах криолитозоны. В верхней части почв гарей отмечается снижение кислотности, увеличение окристаллизованных (труднодоступных) форм железа. В профилях начинают более интенсивно проявляться турбационные процессы. За счет увеличения теплообеспеченности на следующий год после пожаров глубина сезонного протаивания в почвах гарей лиственничников увеличивается на 25%, сосняков – в два раза. С началом протаивания сезонной мерзлоты все почвы испытывают переувлажнение, над мерзлотой накапливается верховодка (самый высокий уровень фиксируется в профиле гари лиственничника, а самый низкий – в профиле сосновой гари). Это показывает, что почвы, сформированные на легких породах, могут иметь разный отклик на прошедший интенсивный пожар в зависимости от того, под каким типом растительности они развиваются и насколько сильно снизилась защитная функция растительности и подстилки.

Было установлено, что в почвах лиственничных лесов запас влаги после пожара увеличился в 2.1 раза, а в сосновых – в 1.7 раз. Накопление огромного запаса влаги в сезонно талом слое почв приводит к выходу вод на поверхность земли при зимнем промерзании почв в ноябре–январе, вызывая катастрофические нарушения дорожной сети и затапливая леса по долинам небольших рек и ручейков.

Поскольку исследованная территория расположена в цен-

тральной части ареала, сложенной древнеаллювиальными легкими породами, и где крупные участки заняты переувлажненными песками – тукуланами. Возникшие обширные площади новых гарей в условиях уничтожения защитного слоя подстилки при усилении ветрового режима могут вызвать существенное расширение площади тукуланов.

Таким образом, послепожарные трансформации лесной растительности и мерзлотных почв на территории распространения легких почвообразующих пород весьма масштабны, имеют разноплановый характер влияния на изученные компоненты. Для выявления динамики развития растительного покрова и мерзлотных почв при послепожарных сукцессиях требуется проведение планомерных многолетних наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Аболин Р.И.* Геоботаническое и почвенное описание Лено-Виллойской равнины // Тр. комис. по изуч. ЯАССР. Ленинград: Изд-во АН СССР, 1929. Т. 10. 378 с.
2. *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.
3. *Аринушкина Е.В.* Руководство по химическому анализу почв. М.: Изд-во Московского университета, 1970. 487 с.
4. *Бабанин В.Ф., Трухин В.И., Карпачевский Л.О., Иванов А.В., Морозов В.В.* Магнетизм почв. М., Ярославль: Изд-во ЯГТУ, 1995. 222 с.
5. *Бойцов А.В., Шепелев В.В.* Мерзлотно-гидрогеологические условия массива разведываемых песков Махатта (Центральная Якутия) // Гидрогеологические исследования криолитозоны. Якутск, 1976. С. 25–34.
6. *Валевич Т.О., Мерзляков О.Э.* Влияние лесных пожаров на почвы лиственных лесов Западного Саяна в условиях криоаридного климата // Почва как связующее звено функционирования природных антропогенно-преобразованных экосистем. Материалы V международной конференции, посвященной 90-летию кафедры почвоведения и оценки земельных ресурсов ИГУ. Иркутск: ИГУ, 2021. С. 347–350.
7. *Водяницкий Ю.Н., Шоба С.А.* Дискуссионные вопросы интерпретации результатов химической экстракции соединений железа из почв // Почвоведение. 2014. № 6. С. 697–704. DOI: [10.7868/S0032180X14060112](https://doi.org/10.7868/S0032180X14060112).

8. *Габбасова И.М., Гаринов Т.Т., Сулейманов Р.Р., Комиссаров М.А., Хабиров И.К., Сидорова Л.В., Назырова Ф.И., Простякова З.Г., Котлугалеева Э.Ю.* Влияние низовых пожаров на свойства и эрозию лесных почв Южного Урала (Башкирский государственный природный заповедник) // Почвоведение. 2019. № 4. С. 412–421. DOI: [10.1134/S0032180X19040075](https://doi.org/10.1134/S0032180X19040075).
9. *Гынинова А.Б., Сымпилова Д.П.* Изменение свойств дерново-лесных почв под влиянием пожаров // Почвы Сибири, их использование и охрана. Новосибирск: Наука, 1999. С. 120–124.
10. *Десяткин Р.В.* Почвы аласов Лено-Амгинского междуречья. Якутск: ЯФ СО АН СССР, 1984. 168 с.
11. *Десяткин Р.В.* Почвообразование в термокарстовых котловинах – аласах криолитозоны. Новосибирск: Наука, 2008. 324 с.
12. *Десяткин Р.В., Оконешникова М.В., Десяткин А.Р.* Почвы Якутии. Якутск: Бичик, 2009. 61 с.
13. *Добровольский Г.В.* Деградация и охрана почв. М.: Изд-во МГУ, 2002. 654 с.
14. *Дымов А.А., Дубровский Ю.А., Габов Д.Н.* Пирогенные изменения подзолов иллювиально-железистых (средняя тайга, Республика Коми) // Почвоведение. 2014. № 2. С. 144–154. DOI: [10.7868/s0032180x14020051](https://doi.org/10.7868/s0032180x14020051).
15. Единый государственный реестр почвенных ресурсов России. Версия 1.0 / Под ред. *Иванова А.Л., Шобы С.А.* М.: Почв.ин-т им. В.В. Докучаева, 2014. 768 с.
16. *Зайдельман Ф.Р., Шваров А.П.* Пирогенная и гидротермическая деградация торфяных почв, их агроэкология, песчаные культуры земледелия, рекультивация. М.: Изд-во МГУ, 2002. 168 с.
17. *Зонн С.В.* Железо в почвах. М.: Наука, 1982. 207 с.
18. *Ильичев Ю.Н., Игнатьев Л.А., Артымук С.Ю.* Влияние пожаров и рубок по гарям на почвенно-экологические факторы естественного лесовосстановления // Сибирский экологический журнал. 2011. Т. 18. № 6. С. 861–869.
19. *Исаев А.П.* Лиственничные леса среднетаежной подзоны Якутии и лесовозобновление на вырубках: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Красноярск, 1993. 21 с.
20. *Исаев А.П.* Естественное лесовозобновление на вырубках и гарях // Лес и вечная мерзлота: особенности состава и структуры лесов мерзлотного региона, проблемы рационального ведения хозяйства и охраны. Якутск: Изд-во Якутского ун-та, 2000. С. 96–104.
21. *Исаев А.П., Протопопова В.В., Такахаши К.* История лесных пожаров в окрестностях г. Якутска // Проблемы изучения растительного покрова

Якутии: Сб. науч. ст. Якутск: НИПК “Сахаполиграфиздат”, 2004. С. 121-126.

22. *Карпель Б.А., Короходкина В.Г.* Изменение почвенных условий после пожаров // Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск: Наука, 1979. С. 75–87.

23. *Катасонова Е.Г., Толстов А.Н.* Геокриологические особенности развесаемых песков (тукуланов) правобережья р. Виллой // Многолетнемерзлые горные породы различных районов СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 166–178.

24. *Качинский Н.А.* Механический и микроагрегатный состав почвы, методы его изучения. М.: Изд-во АН СССР, 1958. 191 с.

25. Конспект флоры Азиатской России: Сосудистые растения / под ред. *Байкова К.С.* Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2012. 640 с.

26. *Краснощечков Ю.Н.* Влияние пирогенного фактора на серогумусовые почвы сосновых лесов в Центральной экологической зоне Байкальской природной территории // Сибирский лесной журнал. 2014. № 2. С. 43–52.

27. *Красюк А.А.*, при сотрудничестве *Г.Н. Огнева.* Почвы Ленско-Амгинского водораздела (Якутский округ) // Материалы комиссии по изуч. ЯАССР. Ленинград: Изд-во АН СССР, 1927, Т. 6, 176 с.

28. *Лыткина Л.П.* Динамика растительного покрова на гарях лиственничных лесов Лено-Амгинского междуречья (Центральная Якутия): Автореф. дис. ... к. б. н.: 03.00.05. Якутск, 2005а. 17 с.

29. *Лыткина Л.П.* Пирогенные сукцессии растительности в лесах Лено-Амгинского междуречья (Центральная Якутия) // Фундаментальные исследования. 2005б. № 8. С. 57–58.

30. *Лыткина Л.П.* Лесовосстановление на гарях Лено-Амгинского междуречья. Новосибирск: Наука, 2010. 117 с.

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

32. *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. С. 129–140. DOI: [10.15356/0373-2444-2015-3-129-140](https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-3-129-140).

33. Национальный атлас почв Российской Федерации / под ред. *Шобы С.А.* М.: ООО Астрель, 2011. 631 с.

34. *Пискарева В.М., Кошовский Т.С., Бисикалова Е.А., Геннадиев А.Н., Белик А.Д.* Влияние пожаров на свойства почв Национального Парка “Земля Леопарда” (Приморский край) // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. 2019. № 3. С. 11–24..

35. Прокушкин С.Г., Богданов В.В., Прокушкин А.С., Токарева И.В. Послепожарное восстановление органического вещества в напочвенном покрове лиственничников криолитозоны центральной Эвенкии // Изв. РАН. Сер. биологическая. 2011. № 2. С. 227–234.
36. Сукачев В.Н. Растительность верхней части бассейна р. Тунгира Олекминского округа Якутской области (фитосоциологический очерк) // Труды Амурской экспедиции. СПб., 1912. Т. 16, 286 с.
37. Тарабукина В.Г. Пирогенез и его влияние на экологическое состояние почв северной тайги // Прикладная экология Севера: опыт проведенных исследований, современное состояние и перспективы. Якутск: Ин-т прикладной экологии Севера АН РС(Я), 2003. С. 174–177.
38. Тарабукина В.Г., Саввинов Д.Д. Влияние лесных пожаров на мерзлотные почвы. Новосибирск: Наука, 1990. 120 с.
39. Тарабукина В.Г., Шумилов Ю.В. Пирогенная трансформация лесных почв в условиях криолитозоны // Продуктивность и устойчивость лесных почв / Мат-лы III междунар. конф. (Петрозаводск 7–11.09.2009 г.). Петрозаводск: КарНЦ РАН, 2009. С. 112–116.
40. Тимофеев П.А., Исаев А.П., Щербаков И.П., Волотовский К.А., Медведева Н.С. Леса среднетаежной подзоны Якутии. Якутск: ЯНЦ СО РАН, 1994. 140 с.
41. Тюлина Л.Н. Очерк лесной растительности верхнего течения Алдана // Труды Ин-та биологии ЯФ АН СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1957. Т. 3. С. 83–138.
42. Тюлина Л.Н. Лесная растительность средней и нижней части бассейна р. Учур. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. 150 с.
43. Унифицированная региональная стратиграфическая схема четвертичных отложений Средней Сибири (Таймыр, Сибирская платформа). Новосибирск, 2010. 15 с.
44. Цибарт А.С., Геннадиев А.Н. Влияние пожаров на свойства лесных почв Приамурья (Норский заповедник) // Почвоведение. 2008. № 7. С. 783–792.
45. Цибарт А. С., Геннадиев А. Н. Направленность изменения лесных почв Приамурья под воздействием пирогенного фактора // Вестник Московского университета. Сер. 5: География. 2009. № 3. С. 66–74.
46. Чевычелов А.П. Пирогенез и постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 273–277.
47. Чевычелов А.П., Шахматова Е.Ю. Постпирогенные полициклические почвы в лесах Якутии и Забайкалья // Почвоведение. 2018. № 2. С. 243–252. DOI: [10.7868/S0032180X18020120](https://doi.org/10.7868/S0032180X18020120).

48. Чузунова Р.В. Гари Южной Якутии и их лесовозобновление // Леса Южной Якутии. М.: Наука, 1964. С. 110–143.
49. Шахматова Е.Ю. Пирогенность – ответная реакция почв сухих сосновых лесов на воздействие пожаров // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2015. № 5–2. С. 260–264. URL: <https://applied-research.ru/article/view?id=6723>.
50. Щербаков И.П. Типы леса Южной Якутии // Леса Южной Якутии. М.: Наука, 1964. С. 5–109.
51. Щербаков И.П. Лесной покров Северо-Востока СССР. Новосибирск: Наука., 1975. 344 с.
52. Яковлев А.П. Пожароопасность сосновых и лиственничных лесов // Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск: Наука, 1979. С. 195–212.
53. Desyatkin A., Fedorov P., Filippov N., Desyatkin R. Climate Change and Its Influence on the Active Layer Depth in Central Yakutia // Land. 2021. Vol. 10. No. 1. P. 1–3. DOI: [10.3390/land10010003](https://doi.org/10.3390/land10010003).
54. Desyatkin R.V., Okoneshnikova M.V., Ivanova A.Z., Desyatkin A.R., Filippov N.V. Sandy soils of desert-like landscapes (tukulans) of Central Yakutia // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (The VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society, 2021, Syktyvkar, Komi Republic, RF). IOP Publishing Ltd. 2021. Vol. 862. Art. ID 012003. DOI: [10.1088/1755-1315/862/1/012003](https://doi.org/10.1088/1755-1315/862/1/012003).
55. Desyatkin R., Okoneshnikova M., Ivanova A., Nikolaeva M., Filippov N., Desyatkin A. Dynamics of Vegetation and Soil Cover of Pyrogenically Disturbed Areas of the Northern Taiga under Conditions of Thermokarst Development and Climate Warming // Land. 2022. Vol. 11. No. 9. 1594.
56. Sofronov M.A., Volokitina A.V., Kajimoto T., Matsuura Y., Uemura S., Zonal peculiarities of forest vegetation controlled by fires in Northern Siberia // Eurasian J. For. Res. 2000. No. 1. P. 51–59.

REFERENCES

1. Abolin R.I., Geobotanicheskoe i pochvennoe opisanie Leno-Vilyuiskoi ravniny (Geobotanical and soil description of the Lena-Vilyui plain), *Tr. komis. po izuch. YaASSR*, Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1929, Vol. 10, 378 p.
2. Andreev V.N., Galaktionova T.F, Perfil'eva V.I., Shcherbakov I.P., *Osnovnye osobennosti rastitel'nogo pokrova Yakutskoi ASSR* (The main features of the vegetation cover of the Yakut ASSR), Yakutsk: YaF SO AN SSSR, 1987, 156 p.

3. Arinushkina E.V., *Rukovodstvo po khimicheskomu analizu pochv* (Soil Chemical Analysis Guide), Moscow: Izd-vo Moskovskogo universiteta, 1970, 487 p.
4. Babanin V.F., Trukhin V.I., Karpachevskii L.O., Ivanov A.V., Morozov V.V., *Magnetizm pochv* (Soil magnetism), Moscow, Yaroslavl': Izd-vo YaGTU, 1995, 222 p.
5. Boitsov A.V., Shepelev V.V., Merzlotno-gidrogeologicheskie usloviya massiva razvevaemykh peskov Makhatta (Tsentral'naya Yakutiya) (Permafrost-hydrogeological conditions of the massif of blown sands Mahatta (Central Yakutia)), In: *Gidrogeologicheskie issledovaniya kriolitozony* (Hydrogeological studies of permafrost), Yakutsk, 1976, pp. 25–34.
6. Valevich T.O., Merzlyakov O.E., Vliyanie lesnykh pozharov na pochvy listvennichnykh lesov Zapadnogo Sayana v usloviyakh krioaridnogo klimata (Influence of forest fires on the soils of larch forests of the Western Sayan in a cryoarid climate), *Pochva kak svyazuyushchee zveno funktsionirovaniya prirodnykh i antropogenno-preobrazovannykh ekosistem. Materialy V mezhdunarodnoi konferentsii, posvyashchennoi 90-letiyu kafedry pochvovedeniya i otsenki zemel'nykh resursov IGU* (Soil as a Connecting Link in the Functioning of Natural and Anthropogenically Transformed Ecosystems. Proc. V Int. Conf. dedicated to the 90th anniversary of the Department of Soil Science and Land Resources Assessment of ISU), Irkutsk: IGU, 2021, pp. 347–350.
7. Vodyanitskii Yu.N., Shoba S.A., Disputable issues of interpreting the results of chemical extraction of iron compounds from soils, *Eurasian Soil Science*, 2014, Vol. 47, No. 6, pp. 573–580, DOI: [10.1134/S106422931406009X](https://doi.org/10.1134/S106422931406009X).
8. Gabbasova I.M., Garipov T.T., Suleimanov R.R., Komissarov M.A., Khabirov I.K., Sidorova L.V., Nazyrova F.I., Prostyakova Z.G., Kotlugalyamova E.Yu., The influence of ground fires on the properties and erosion of forest soils in the Southern Urals (Bashkir state nature reserve), *Eurasian Soil Science*, 2019, Vol. 52, No. 4, pp. 370–379, [10.1134/S1064229319040070](https://doi.org/10.1134/S1064229319040070).
9. Gyninova A.B., Sympilova D.P., Izmenenie svoystv dernovo-lesnykh pochv pod vliyaniem pozharov (Changes in properties of soddy-forest soils under the influence of fires), In: *Pochvy Sibiri, ikh ispol'zovanie i okhrana* (Soils of Siberia, their use and protection), Novosibirsk: Nauka, 1999, pp. 120–124.
10. Desyatkin R.V., *Pochvy alasov Leno-Amginskogo mezhdurech'ya* (Soils of the alasses of the Lena-Amga interfluve), Yakutsk: YaF SO AN SSSR, 1984, 168 p.

11. Desyatkin R.V., *Pochvoobrazovanie v termokarstovykh kotlovinakh – alasakh kriolitozony* (Soil formation in thermokarst basins – alas in the permafrost zone), Novosibirsk: Nauka, 2008, 324 p.
12. Desyatkin R.V., Okoneshnikova M.V., Desyatkin A.R., *Pochvy Yakutii* (Soils of Yakutia), Yakutsk: Bichik, 2009, 61 p.
13. Dobrovolskii G.V., *Degradatsiya i okhrana pochv* (Soil degradation and protection), Moscow: Izd-vo MGU, 2002, 654 p.
14. Dymov A.A., Dubrovskii Yu.A., Gabov D.N., Pyrogenic changes in iron-illuvial podzols in the middle taiga of the Komi Republic, *Eurasian Soil Science*, 2014, Vol. 47, No.2, pp. 47–56, DOI: [10.1134/S1064229314020045](https://doi.org/10.1134/S1064229314020045).
15. Ivanov A.L., Shoba S.A. (Eds.), *Edinyi gosudarstvennyi reestr pochvennykh resursov Rossii. Versiya 1.0* (Unified State Register of Soil Resources of Russia. Version 1.0), Moscow: Pochv.in-t im. V.V. Dokuchaeva, 2014, 768 p.
16. Zaidel'man F.R., Shvarov A.P., *Pirogennaya i gidrotermicheskaya degradatsiya torfyanykh pochv, ikh agroekologiya, peschanye kul'tury zemledeliya, rekul'tivatsiya* (Pyrogenic and hydrothermal degradation of peat soils, their agroecology, sand cultures of agriculture, reclamation), Moscow: Izd-vo MGU, 2002, 168 p.
17. Zonn S.V., *Zhelezo v pochvakh* (Iron in soils), Moscow: Nauka, 1982, 207 p.
18. Il'ichev Yu.N., Ignat'ev L.A., Artymuk S.Yu., Vliyanie pozharov i rubok po garyam na pochvenno-ekologicheskie faktory estestvennogo lesovosstanovleniya (Influence of fires and logging in burnt areas on soil-ecological factors of natural reforestation), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2011, Vol. 18, No.6, pp. 861–869.
19. Isaev A.P., *Listvennichnye lesa srednetaezhnoi podzony Yakutii i lesovozobnovlenie na vyrubkakh: Avtoref. dis. ... kand. s.-kh. nauk* (Larch forests of the middle taiga subzone of Yakutia and reforestation in clearings, Extended abstract of Cand. agr. sci. thesis), Krasnoyarsk, 1993, 21 p.
20. Isaev A.P., Estestvennoe lesovozobnovlenie na vyrubkakh i garyakh (Natural reforestation in clearings and burnt areas), In: *Les i vechnaya merzlota: osobennosti sostava i struktury lesov merzlotnogo regiona, problemy ratsional'nogo vedeniya khozyaistva i okhrany* (Forest and permafrost: features of the composition and structure of forests in the permafrost region, problems of rational management and protection), Yakutsk: Izd-vo Yakutskogo un-ta, 2000, pp. 96–104.
21. Isaev A.P., Protopopova V.V., Takakhashi K., Istoriya lesnykh pozharov v okrestnostyakh g. Yakutsk (The history of forest fires in the vicinity of Yakutsk), In: *Problemy izucheniya rastitel'nogo pokrova Yakutii* (Problems of

- studying the vegetation cover of Yakutia), Yakutsk: NIPK “Sakhapoligrafizdat”, 2004, pp. 121–126.
22. Karpel' B.A., Korokhodkina V.G., *Izmenenie pochvennykh uslovii posle pozharov* (Changes in soil conditions after fires), In: *Lesnye pozhary v Yakutii i ikh vliyaniye na prirodu lesa* (Forest fires in Yakutia and their impact on the nature of the forest), Novosibirsk: Nauka, 1979, pp. 75–87.
23. Katasonova E.G., Tolstov A.N., *Geokriologicheskie osobennosti razvevaemykh peskov (tukulanov) pravoberezh'ya r. Vilyui* (Geocryological features of blown sands (tukulans) of the right bank of the Vilyuy river), In: *Mноголетнемерзлые горные породы различных раионов СССР* (Permafrost rocks in various regions of the USSR), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1963, pp. 166–178.
24. Kachinskii N.A., *Mekhanicheskii i mikroagregatnyi sostav pochvy, metody ego izucheniya* (Mechanical and microaggregate composition of the soil, methods of its study), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1958, 191 p.
25. Baikov K.S. (Ed.), *Konspekt flory Aziatskoi Rossii: Sosudistye rasteniya* (Synopsis of the flora of Asiatic Russia: Vascular plants), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2012, 640 p.
26. Krasnoshchekov Yu.N., *Vliyaniye pirogenного фактора на серогумусовые почвы сосновых лесов в Tsentral'noi' ekologicheskoi zone Baikal'skoi prirodnoi territorii* (Influence of the pyrogenic factor on gray-humus soils of pine forests in the Central ecological zone of the Baikal natural territory), *Sibirskii lesnoi zhurnal*, 2014, No. 2, pp. 43–52.
27. Krasnyuk A.A., Ognev G.N., *Pochvy Lensko-Amginskogo vodorazdela (Yakutskii okrug)* (Soils of the Lena-Amga watershed (Yakutian district)), In: *Materialy komissii po izuch. YaASSR* (Materials of the commission for the study of the YASSR), Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1927, Vol. 6, 176 p.
28. Lytkina L.P., *Dinamika rastitel'nogo pokrova na garyakh listvennichnykh лесов Leno-Amginskogo mezhdurech'ya (Tsentral'naya Yakutiya): Avtoref. dis. ... kand. biol. nauk* (Vegetation dynamics in the burnt areas of larch forests of the Lena-Amga interflue (Central Yakutia), Extended abstract of Cand. biol. sci. thesis), Yakutsk, 2005a, 17 p.
29. Lytkina L.P., *Pirogenные сукцессии растительности в лесах Leno-Amginskogo mezhdurech'ya (Tsentral'naya Yakutiya)* (Pyrogenic vegetation successions in the forests of the Lena-Amga interflue (Central Yakutia)), *Fundamental'nye issledovaniya*, 2005b, No. 8, pp. 57–58.
30. Lytkina L.P., *Lesovosstanovlenie na garyakh Leno-Amginskogo mezhdurech'ya* (Reforestation on the burnt-out areas of the Lena-Amga interflue), Novosibirsk: Nauka, 2010, 117 p.
31. Matveev P.M., Matveev A.M., *Lesnaya pirologiya* (Forest pyrology), Krasnoyarsk: SibGTU, 2002, 316 p.

32. Mergelov N.S., Postpirogennaya transformatsiya pochv i zapasov pochvennogo ugleroda v predtundrovyykh redkoles'yakh Kolymskoi nizmennosti: kaskadnyi effekt i obratnye svyazi (Postpyrogenic transformation of soils and soil carbon stocks in sub-tundra woodlands of Kolyma lowland: a cascading effect and feedbacks), *Izvestiya RAN. Seriya geograficheskaya*, 2015, No. 3, pp. 129–140, DOI: [10.15356/0373-2444-2015-3-129-140](https://doi.org/10.15356/0373-2444-2015-3-129-140).
33. Shoba S.A. (Ed.), *Natsional'nyi atlas pochv Rossiiskoi Federatsii* (National Soil Atlas of the Russian Federation), Moscow: OOO Astrel', 2011 631 p.
34. Piskareva V.M., Koshovskii T.S., Bisikalova E.A., Gennadiev A.N., Belik A.D., Vliyanie pozharov na svoystva pochv Natsional'nogo Parka "Zemlya Leoparda" (Primorskii krai) (Influence of fires on soil properties of the National Park "Land of the Leopard" (Primorsky region)), *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5: Geografiya*, 2019, No. 3, pp. 11–24.
35. Prokushkin S.G., Bogdanov V.V., Prokushkin A.S., Tokareva I.V., Poslepozharnoe vosstanovlenie organicheskogo veshchestva v napochvennom pokrove listvennichnikov kriolitozony tsentral'noi Evenkii (Post-fire restoration of organic matter in the ground cover of larch forests in the permafrost zone of central Evenkia), *Izvestiya RAN. Ser. Biologicheskaya*, 2011, No. 2, pp. 227–234.
36. Sukachev V.N., Rastitel'nost' verkhnei chasti basseina r. Tungira Olekminskogo okruga Yakutskoi oblasti (fitosotsiologicheskii ocherk) (The vegetation of the upper part of the basin of the Tungira river, Olekminsky district, Yakutian region (phytosociological essay)), In: *Trudy Amurskoi ekspeditsii* (Proceedings of the Amur expedition), Saint Petersburg, 1912, Vol. 16, 286 p.
37. Tarabukina V.G., Pirogenез i ego vliyanie na ekologicheskoe sostoyanie pochv severnoi taiga (Pyrogenesis and its influence on the ecological state of soils in the northern taiga), In: *Prikladnaya ekologiya Severa: opyt provedennykh issledovaniy, sovremennoe sostoyanie i perspektivy* (Applied ecology of the North: research experience, current state and prospects), Yakutsk: In-t prikladnoi ekologii Severa AN RS(Ya), 2003, pp. 174–177.
38. Tarabukina V.G., Savvinov D.D., Vliyanie lesnykh pozharov na merzlotnye pochvy (Influence of forest fires on cryogenic soils), Novosibirsk: Nauka, 1990, 120 p.
39. Tarabukina V.G., Shumilov Yu.V., Pirogennaya transformatsiya lesnykh pochv v usloviyakh kriolitozony (Pyrogenic transformation of forest soils in permafrost), *Produktivnost' i ustoichivost' lesnykh pochv, Mat-ly III mezhdunar. konf.* (Productivity and resistance of forest soils. Proceedings of the III Int. Conf.), Petrozavodsk: KarNTs RAN, 2009, pp. 112–116.

40. Timofeev P.A., Isaev A.P., Shcherbakov I.P., Volotovskii K.A., Medvedeva N.S., *Lesy srednetaevzhnoi podzony Yakutii* (Forests of the middle taiga subzone of Yakutia), Yakutsk: YaNTs SO RAN, 1994, 140 p.
41. Tyulina L.N., Ocherk lesnoi rastitel'nosti verkhnego techeniya Aldana (Essay on the forest vegetation of the upper reaches of the Aldan River), In: *Trudy In-ta biologii YaF AN SSSR* (Proc. of the Institute of Biology, YaF, USSR Academy of Sciences), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1957, Vol. 3, pp. 83–138.
42. Tyulina L.N., *Lesnaya rastitel'nost' srednei i nizhnei chasti basseina r. Uchur* (Forest vegetation of the middle and lower parts of the Uchur river basin), Moscow, Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1962, 150 p.
43. *Unifitsirovannaya regional'naya stratigraficheskaya skhema chetvertichnykh otlozhenii Srednei Sibiri (Taimyr, Sibirskaya platforma)* (Unified Regional Stratigraphic Scheme of Quaternary Deposits in Central Siberia (Taimyr, Siberian Platform)), Novosibirsk, 2010, 15 p.
44. Tsibart A.S., Gennadiev A.N., The influence of fires on the properties of forest soils in the Amur River basin (The Norskii reserve), *Eurasian Soil Science*, 2008, Vol. 41, No.7, pp. 686–693, DOI: [10.1134/S1064229308070028](https://doi.org/10.1134/S1064229308070028).
45. Tsibart A. S., Gennadiev A. N., Napravlennost' izmeneniya lesnykh pochv Priamur'ya pod vozdeistviem pirogenogo faktora (Direction of changes in forest soils of the Amur region under the influence of the pyrogenic factor), *Vestnik Moskovskogo universiteta. Ser. 5: Geografiya*, 2009, No. 3, pp. 66–74.
46. Chevychelov A.P., Pirogenез i postpirogennye transformatsii svoistv i sostava merzlotnykh pochv (Pyrogenesis and post-pyrogenic transformations of the properties and composition of cryogenic soils), *Sibirskii ekologicheskii zhurnal*, 2002, No. 3, pp. 273–277.
47. Chevychelov A.P., Shakhmatova E.Yu., Postpyrogenic polycyclic soils in the forest of Yakutia and Transbaikal region, *Eurasian Soil Science*, 2018, Vol. 51, No. 2, pp. 243–252, DOI: [10.1134/S1064229318020023](https://doi.org/10.1134/S1064229318020023).
48. Chugunova R.V., Gari Yuzhnoi Yakutii i ikh lesovozobnovlenie (Burnt areas of South Yakutia and their reforestation), In: *Lesy Yuzhnoi Yakutii* (Forests of South Yakutia), Moscow: Nauka, 1964, pp. 110–143.
49. Shakhmatova E.Yu., Pirogennost' – otvetnaya reaktsiya pochv sukhikh sosnovykh lesov na vozdeistvie pozharov (Pyrogenicity – the response of soils of dry pine forests to the impact of fires), *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*, 2015, No. 5–2, pp. 260–264, URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=6723>.
50. Shcherbakov I.P., Tipy lesa Yuzhnoi Yakutii (Forest types of South Yakutia), In: *Lesy Yuzhnoi Yakutii* (Forests of South Yakutia), Moscow: Nauka, 1964, pp. 5–109.

51. Shcherbakov I.P., *Lesnoi pokrov Severo-Vostoka SSSR* (Forest cover of the North-East of the USSR), Novosibirsk: Nauka., 1975, 344 p.
52. Yakovlev A.P., Pozharoopasnost' sosnovykh i listvennichnykh lesov (Fire hazard of pine and larch forests), In: *Lesnye pozhary v Yakutii i ikh vliyanie na prirodu lesa* (Forest fires in Yakutia and their impact on the nature of the forest), Novosibirsk: Nauka, 1979, pp. 195–212.
53. Desyatkin A., Fedorov P., Filippov N., Desyatkin R., Climate Change and Its Influence on the Active Layer Depth in Central Yakutia, *Land*, 2021, Vol. 10, No. 1, pp. 1–3, DOI: [10.3390/land10010003](https://doi.org/10.3390/land10010003).
54. Desyatkin R.V., Okoneshnikova M.V., Ivanova A.Z., Desyatkin A.R., Filippov N.V., Sandy soils of desert-like landscapes (tukulans) of Central Yakutia, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (The VIII Congress of the Dokuchaev Soil Science Society)*, Proc. Conf., Syktyvkar, Komi Republic, RF., 2021, Vol. 862, Art. ID 012003, DOI: [10.1088/1755-1315/862/1/012003](https://doi.org/10.1088/1755-1315/862/1/012003).
55. Desyatkin R., Okoneshnikova M., Ivanova A., Nikolaeva M., Filippov N., Desyatkin A., Dynamics of Vegetation and Soil Cover of Pyrogenically Disturbed Areas of the Northern Taiga under Conditions of Thermokarst Development and Climate Warming, *Land*, 2022. Vol. 11, No. 9, 1594.
56. Sofronov M.A., Volokitina A.V., Kajimoto T., Matsuura Y., Uemura S., Zonal peculiarities of forest vegetation controlled by fires in Northern Siberia, *Eurasian J. For. Res.*, 2000, No. 1, pp. 51–59.