

ПОСТПИРОГЕННАЯ ДИНАМИКА АГРОХИМИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПЕСЧАНЫХ ПОДЗОЛОВ В СОСНЯКАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ

П. А. Тарасов¹, В. А. Иванов¹, Г. А. Иванова², И. Н. Безкоровайная³

¹Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31

E-mail: avyatar@yandex.ru, ivanovv53@yandex.ru

²Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН

Российская Федерация, 660036, г. Красноярск, Академгородок, 50/28

E-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru

³Сибирский федеральный университет

Российская Федерация, 660099, г. Красноярск, просп. Свободный, 79

E-mail: birinik-2011@yandex.ru

Приведены результаты трехлетних исследований динамики агрохимических показателей песчаных подзолов в сосняках лишайниково-зеленомошных, пройденных экспериментальными низовыми пожарами средней и высокой интенсивности.

Образцы почвы для лабораторных исследований на контрольном участке отбирались в год проведения эксперимента (2002 г.), а на горевших участках 1 и 2 – в течение трех последующих лет. При этом использовался метод смешанных образцов, агрохимические показатели которых определяли на инфракрасной аналитической системе «Инфрапид-61».

Анализ полученных результатов выявил довольно заметные изменения рассматриваемых показателей песчаных подзолов, особенно, на втором участке, где пожар имел высокую интенсивность. Так, активное поступление отпада в первый послепожарный год обусловило увеличение содержания в подстилке органического вещества и его основных компонентов – углерода и азота. Ослабление же всех форм почвенной кислотности при одновременном увеличении суммы обменных оснований и степени насыщенности ими отмечается во всей исследуемой почвенной толще и связано с поступлением легкорастворимых щелочных элементов из золы. Этой же причиной объясняется и возросшее содержание доступных форм фосфора и калия, а аммонийного азота – усилением активности восстановившихся после пожара микроорганизмов. В то же время, содержание гумуса в минеральных слоях подзолов после пожаров практически не изменилось. В течение же двух последующих лет изменения агрохимических показателей, в целом, приобретают обратный тренд, и, в ряде случаев, сопоставимы с таковыми на контрольном участке.

Таким образом, характер постпирогенной динамики агрохимических показателей песчаных подзолов в лишайниково-зеленомошных сосняках южной тайги, в целом, близок ранее установленному в других почвенных типах и лесорастительных условиях. В то же время, выявлены некоторые различия степени проявления данной динамики, обусловленные разной интенсивностью пожаров.

Ключевые слова: сосняк лишайниково-зеленомошный, смоделированные низовые беглые пожары, песчаный подзол, агрохимические показатели и их постпирогенная динамика.

Conifers of the boreal area. 2023, Vol. XLI, No. 2, P. 161–174

POST-FIRE CHANGES IN NUTRITIONAL CHARACTERISTICS OF SANDY PODZOL IN PINE FORESTS OF THE SOUTHERN TAIGA

P. A. Tarasov¹, V. A. Ivanov¹, G. A. Ivanova², I. N. Bezkorovaynaya³

¹Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation

E-mail: avyatar@yandex.ru, ivanovv53@yandex.ru

V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS

50/28, Akademgorodok, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation

E-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru

³Siberian Federal University

79, Svobodny av., Krasnoyarsk, 660099, Russian Federation

E-mail: birinik-2011@yandex.ru

The results of three-year studies of the dynamics of nutritional characteristics of sandy podzols in lichen-mossy pine forests, passed by experimental low fire of medium and high intensity, are presented.

Soil samples for laboratory studies at the control site were taken in the year of the experiment (2002), and they were selected at the burned sites 1 and 2 for the next three years. In this case, the method of mixed samples was used, the nutritional characteristics of which were determined on the infrared analytical system "Infrapid-61".

The analysis of the obtained results revealed quite noticeable changes in the considered characteristics of sandy podzols, especially in the second section, where the fire had a high intensity. Thus, the active intake of loss in the first post-fire year caused an increase in the content of organic matter and its main components such as carbon and nitrogen in the forest litter. The weakening of all forms of soil acidity with a simultaneous increase in the amount of exchangeable bases and the degree of saturation with them is noted in the entire studied soil stratum and is associated with the intake of easily soluble alkaline elements from ash. The same reason explains the increased content of available forms of phosphorus and potassium, and ammonium nitrogen is explained by increased activity of microorganisms recovered after the fire. At the same time, the humus content in the mineral layers of the podzols has not changed much after the fires. During the next two years, changes in nutritional characteristics, in general, acquire a reverse trend, and, in some cases, are comparable to those at the control site.

Thus, the nature of the post-fire changes of nutritional characteristics of sandy podzols in lichen-mossy pine forests of the southern taiga, in general, is close to that previously established in other soil types forest growth conditions. At the same time, some differences in the degree of manifestation of these dynamics were revealed due to different intensity of fires.

Keywords: lichen-mossy pine forest, simulated low running fires, sandy podzol, nutritional characteristics and their post-fire changes.

ВВЕДЕНИЕ

Согласно данным Красноярской базы авиационной охраны лесов, только в Средней Сибири ежегодно выгорает до 118 тыс. га лесной площади, а в экстремальные пожароопасные сезоны этот показатель увеличивается еще в 2–3 раза (Влияние пожаров..., 2007). Столь огромные масштабы и высокая периодичность пожаров дают основание рассматривать их в качестве мощного и активно действующего фактора, оказывающего сложное и многоплановое влияние на формирование почвенного покрова лесных биогеоценозов.

Исходя из этого, еще более сорока лет назад А. П. Сапожников (1979) ввел в практику почвоведения термин «пирогенез лесных почв», под которым понимается коренное или частичное изменение их первоначальных свойств и состава или соотношения элементарных почвенных процессов, как в результате пиролиза, так и под влиянием косвенных причин, обусловленных послепожарными преобразованиями внутри биогеоценоза. При этом А. П. Сапожников (1976) отмечал, что конкретный характер и степень пирогенных изменений почвы, с одной стороны, определяются географическими, лесорастительными и почвенными условиями, а с другой – видом и интенсивностью пожаров, их периодичностью и сезонной приуроченностью.

Позднее это нашло подтверждение в целом ряде работ других исследователей (Попова, 1997; Пирогенная..., 2005; Азотный..., 2007; Богородская и др., 2005; Краснощеков, 2004; Лукина и др., 2008; Мажитова, 2000; Цибарт, Геннадиев, 2008; Воздействие..., 2014; Succession..., 2017; Influence of fire..., 2021), которые выявили сложный и разносторонний характер пирогенного воздействия на почву, приводящего к заметным изменениям ее важнейших свойств, что, в свою очередь, соответствующим образом влияет на рост и развитие пройденных пожарами древостоев, а также протекающие в них лесовозобновительные процессы (Прокушкин и др., 2000; Экологическая..., 2001; Цветков и др., 2001; Санников и др., 2004; Ку-

кавская, Иванова, 2006; Соколов, Фарбер, 2006; Тарасов и др., 2012; Воздействие..., 2014;).

Известен целый ряд работ о послепожарных изменениях важнейших агрохимических показателей различных типов почв в разных по составу хвойных насаждениях (сосняках, лиственничниках, пихтарниках), произрастающих в Сибири (Попова, 1979, 1982, 1997; Пирогенная..., 2005; Азотный..., 2007; Краснощеков и др., 2007; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020), Забайкалье (Стефин, 1981; Краснощеков, 2004), Якутии (Тарабукина, Саввинов, 1990; Чевычелов, 2002; Чевычелов, Шахматова, 2018), на Дальнем Востоке (Сапожников, 1976, 1979; Шешуков и др., 1992; Пшеничникова, Пшеничников, 1994; Цибарт, Геннадиев, 2008, 2009), Колыме (Мажитова, 2000) и европейском Севере (Лукина и др., 2008). На основании анализа данных работ сделан вывод, что наиболее заметные различия агрохимических показателей почв наблюдаются в их верхних слоях до глубины 40–50 см на протяжении от двух до четырех лет, после чего они восстанавливаются до исходных значений (Попова, 1979, 1982; Стефин, 1981; Влияние контролируемого..., 2005; Краснощеков и др., 2007; Тарасов, Тарасова, 2020).

Исходя из этого, основная цель исследований заключалась в оценке временной динамики агрохимических показателей почвы после лесных пожаров в южнотаяжных сосняках. Достижение данной цели обусловило необходимость проведения соответствующих полевых и лабораторных исследований почвы, а также анализа полученных данных.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в Нижнем Приангарье, в насаждениях Невонского лесничества, территория которого относится к южной тайге (Средняя Сибирь, 1964). Изучаемые объекты были представлены тремя граничащими между собой участками чистых приспевающих (90 лет) сосняков лишайниково-зеленомошной группы, имеющих следующие географические

координаты – 58° 42' северной широты и 98° 25' восточной долготы.

С целью изучения пирогенного влияния на различные компоненты насаждений на двух участках планировалось моделирование экспериментальных низовых пожаров, а третий использовать в качестве контрольного. Основные таксационные показатели древостоев на данных участках, определенные методами перечислительной таксации (Сукачев, Зонн, 1961), приведены в табл. 1.

Во второй декаде июня 2002 г. на двух участках были смоделированы экспериментальные низовые пожары. Они представляли собой контролируемые выжигания, при которых зажигание проводили по направлению ветра от одной из сторон экспериментального участка. При этом моделировалось распространение фронтальной кромки пожара. Во время экспериментов использованы стандартные, а также специально разработанные методики (McRae et al., 1979; Blank, Simard, 1983). При расчете интенсивности пожара (Byram, 1959; Alexander, 1982) использованы данные по тепловой способности отдельных видов лесных горючих материалов Г. А. Амосова (1958) и Н. П. Курбатского (1962). Скорость распространения кромки пожара определяли с помощью электронных таймеров.

Запасы напочвенных лесных горючих материалов (ЛГМ) определяли с использованием российских и канадских методик (Курбатский, 1970; Walker, Stocks 1975; Alexander et al., 1991). Образцы различных компонентов данных ЛГМ (мхов, лишайников, опада, подстилки, кустарничков, трав) отбирали на учетных площадках размером 20×25 см, которые закладывались в 25 точках каждого участка. В лабораторных условиях образцы высушивались до постоянной массы и взвешивались. Аналогичные работы, проведенные после экспериментальных пожаров, позволили рассчитать массу сгоревших напочвенных ЛГМ, как разность между ее исходной и послепожарной величинами.

Основные параметры поведения смоделированных пожаров приведены в табл. 2.

Для изучения морфологических признаков почв и их полевой диагностики в наиболее характерных местах всех экспериментальных участков в соответствии с общепринятыми методиками (Практикум ..., 1980) были заложены почвенные разрезы. Кроме того, учи-

тывая большую роль живого напочвенного покрова в почвообразовании, в синузиях с преобладанием зеленых мхов и лишайников были сделаны прикопки до глубины 50 см.

Анализ морфологических признаков разрезов и прикопок выявил относительно однородный характер почвенного покрова всех экспериментальных участков, сформированного исключительно иллювиально-железистыми песчаными подзолами (Классификация..., 2004), практически идентичными почвам среднетаежных сосняков (Воздействие пожаров..., 2014). Подзолы имеют довольно мощный профиль, отчетливо дифференцированный на следующие горизонты: О – Е – BF1 – BF2 – BF2C – С.

Ниже приводится описание разреза, заложенного на контрольном участке, которое наиболее полно характеризует морфологические признаки данных почв.

О 0–3 см. Плотная бурая лесная подстилка, густо переплетена гифами грибов. По степени трансформации составляющих ее органических остатков неоднородна, а в нижней части содержатся многочисленные включения частиц угля. Граница со следующим горизонтом ровная, переход резкий.

Е 3–18 см. Яркий выраженный подзолистый горизонт, белесый, песчаный, бесструктурный, рыхлого сложения, влажный. Содержит многочисленные включения корней и мелких частиц угля. Граница со следующим горизонтом в виде потеков, переход ясный.

BF1 18–33 см. Верхний подгоризонт иллювиально-железистого горизонта. Охристого цвета, с белесоватыми пятнами, влажный, супесчаный, бесструктурный, уплотненный. Содержит немногочисленные включения корней, частиц угля и мелкого щебня. Постепенно переходит в подгоризонт BF2.

BF2 33–47 см. Нижняя часть иллювиально-железистого горизонта. Более светлая, влажная, песчаная, бесструктурная, уплотненная. Содержит единичные включения корней и мелкого щебня. Переход в следующий горизонт прослеживается плохо.

BF2C 47–70 см. Переходный от иллювиально-железистого к почвообразующей породе. Белесый, со светло-желтыми потеками, влажный, песчаный, бесструктурный, уплотненный. Переход в следующий горизонт прослеживается плохо.

Таблица 1
Таксационные показатели сосновых древостоев

Участок	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Полнота	Класс бонитета	Запас, м ³ /га
1	25,2	22,1	1,0	III	348
2	26,7	22,7	0,8	III	293
Контроль	25,4	22,3	0,8	III	278

Таблица 2
Параметры поведения экспериментальных пожаров

Участок	Интенсивность пожара, кВт/м	Скорость распространения кромки пожара, м/мин	Запасы напочвенных ЛГМ		
			исходные, т/га	сгоревшие	
1	средняя, 3195	3,0	42,56	18,77	44,1
2	высокая, 4876	7,3	49,27	23,55	47,8

С 70–100 см и глубже. Почвообразующая порода, желтовато-белесая, с единичными новообразованиями соединений железа в виде пятен ярко желтого цвета, влажная, песчаная, бесструктурная, плотная.

Практически все горизонты описанного профиля несут следы прошедших лесных пожаров в виде включений частиц угля и образованных от них нисходящим током воды темных пятен и вертикальных полос. Отмеченная приуроченность основной массы физиологически активных корней к верхней полуметровой толще указывает на главенствующую роль атмосферных осадков в режиме увлажнения данных почв и их автоморфность.

Для проведения лабораторных агрохимических исследований почвы отбирались ее образцы: на контрольном участке – в год проведения экспериментальных выжиганий (2002 г.), а на участках 1 и 2 – в течение трех последующих лет. При этом отбор образцов проводили на пяти постоянных точках каждого участка до глубины 40 см, до которой, согласно литературным данным (Краснощекоев, 2004; Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020), проявляется влияние пожаров. Таким образом, исходя из мощности верхних горизонтов и степени их подверженности пирогенному влиянию, а также методики взятия образцов, отбору подлежали: лесная подстилка О – полностью; верхняя (5–10 см) и нижняя (10–15 см) части подзолистого горизонта Е; средние части подгоризонтов BF1 (20–30 см) и BF2 (35–45 см) иллювиально-железистого горизонта.

Агрохимические анализы проводили на инфракрасной аналитической установке «Инфрapiд-61» в составленном для каждого исследуемого слоя смешанном образце, позволяющем получить усредненные результаты (Смолянинов и др., 1966).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты агрохимических анализов смешанных образцов контрольного участка показали, что все исследуемые слои подзолов характеризуются очень низким содержанием гумуса, общего азота и доступных форм элементов питания, сильным проявлением всех видов кислотности (актуальной, обменной, гидrolитической), заметно уменьшающейся вниз по профилю, и ненасыщенностью основаниями (табл. 3). Малое содержание коллоидных и близких им по размеру частиц, обусловленное песчаным гранулометрическим составом подзолов, определяет их низкую емкость поглощения.

Анализ почвенных образцов, отбравшихся в течение трех лет после смоделированных пожаров, обнаружил определенные изменения важнейших агрохимических показателей исследуемых почв. Так, содержание в подстилке органического вещества и его основного компонента углерода, в среднем вдвое уменьшившееся из-за их частичного сгорания, имеет тренд к увеличению. При этом наиболее резко это проявилось через год после пожара, что обусловлено поступлением основной массы опада в начале постпирогенного периода. Вследствие этого содержание органического вещества и углерода в подстилке первого участка приблизилось к аналогичным показате-

лям контроля, а на втором, где воздействие огня было высокоинтенсивным, – даже превысило их (табл. 3).

В течение же двух последующих лет относительное увеличение рассматриваемых показателей соответственно составило лишь 1–2 и 0,5–1 %, что, с одной стороны, связано с уменьшением поступления послепожарного опада, а с другой – усилением минерализации подстилки, обусловленным постепенным восстановлением микробных комплексов и их активизацией (Богородская и др., 2005, 2006, 2011; Воздействие пожаров..., 2014). При этом заметно большее содержание органического вещества и углерода в подстилке второго участка (соответственно почти на 10 и 5 %) позволяют заключить, что вследствие высокой интенсивности пожара, первый из указанных процессов здесь идет несколько активнее, а второй – замедлен по причине не совсем благоприятных для микроорганизмов гидротермических условий.

Такой вывод следует из положительных для деятельности микрофлоры постпирогенных изменений физико-химических характеристик почвы обоих экспериментальных участков (Тарабукина, Саввинов, 1990; Краснощекоев, 1994, 2004; Тарасов и др., 2003; Воздействие пожаров..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020). Это обусловлено частичной минерализацией напочвенных лесных горючих материалов в результате пиролиза и последующим единовременным поступлением в подстилку зольных элементов, которые нейтрализуют часть органических кислот, экстрагирующих в раствор в процессе разложения растительных остатков. Растворяясь в атмосферных осадках, зольные вещества, в составе которых преобладают щелочные и щелочноземельные металлы (прежде всего, калий, кальций и магний) проникают в нижние слои почвы до глубины 40–50 см. В результате этого происходит ослабление всех видов почвенной кислотности при одновременном увеличении суммы поглощенных оснований и степени насыщенности ими (Попова, 1979, 1982; Стефин, 1981; Тарасов и др., 2003; Краснощекоев, 2004; Пирогенная..., 2005; Азотный..., 2007; Лукина и др., 2008; Воздействие пожаров..., 2014).

Данные табл. 3 в полной мере отражают описанные изменения физико-химических показателей почвы, заметнее проявляющиеся в подстилке и подзолистом горизонте обоих участков, в которые поступает основная масса золы. Особенно это касается второго участка, где из-за высокой интенсивности пожара ее образовалось больше.

Так, если в его указанных горизонтах значения рН водного и солевого через год после пожара, соответственно, на 0,3–0,6 и на 0,–0,8 единицы превышали аналогичные показатели контроля, то на первом участке – на 0,2–0,5 и 0,3–0,6. В расположенных глубже слоях иллювиально-железистого горизонта обоих экспериментальных участков превышение данных показателей над контрольными значениями в большинстве случаев составляет сотые доли единицы. Таким образом, исходя из значений рН водного и солевого, следует, что в подстилке и подзолистом горизонте второго участка наблюдаются больший сдвиг реакции почвенного раствора к нейтральному диапазону и уменьшение обменной формы потенциальной кислотности.

Значительное уменьшение отмечено и у гидролитической формы данной кислотности, также в большей мере проявившееся в почве второго участка, особенно, в верхней части (2–10 см) подзолистого горизонта. Здесь через год после пожара величина гидролитической кислотности, в сравнении с контрольным участком, снизилась на 163 %, тогда как в подстилке – менее чем на треть (табл. 3). В аналогичных слоях первого участка снижение данного показателя, соответственно, составило около 138 и 10 %. В остальных же слоях относительное уменьшение гидролитической кислотности проявилось слабее (на 43–79 % – на втором участке и на 18–73 % – на первом), причем в наибольшей степени – в подгоризонте BF1, где процесс иллювирирования выражен наиболее сильно.

Вероятнее всего, такой характер изменений данного показателя обусловлен частичным вымыванием из подстилки в минеральные слои зольных элементов. При этом большая часть входящих в их состав оснований, по причине всего лишь годовичного послепожарного периода, оказалась в граничащей с подстилкой верхней части подзолистого горизонта. Последующее замещение в коллоидном комплексе (ППК) ионов водорода содержащимися в почвенном растворе основными катионами привело не только к снижению гидролитической, а также обменной форм потенциальной кислотности, но и увеличению суммы поглощенных оснований и степени насыщенности ими (Лукина и др., 2008; Тарасов, Тарасова, 2020). Значения двух последних физико-химических показателей исследуемых слоев возросли, по сравнению с контрольными, на втором участке, соответственно, на 19–82 и 8–29 %, а на первом – на 13–38 и 4–28 % (табл. 3). При этом их наибольшее относительное увеличение на обоих экспериментальных участках наблюдалось в верхней части подзолистого горизонта и подгоризонте BF1, где снижение гидролитической кислотности было максимальным.

В 2004 г., т.е. через два года после смоделированных пожаров, изменения физико-химических показателей подзолов имели не столь однозначный характер. В большинстве исследуемых слоев обоих экспериментальных участках, особенно, второго, значения одних показателей, по сравнению с предыдущим годом, несколько возросли, а других, напротив, уменьшились (табл. 3). При этом отсутствие какой-либо четко выраженной тенденции в характере данных изменений делает их труднообъяснимыми. Возможно, они обусловлены сочетанием различных почвообразовательных процессов.

Например, снижение pH водного, указывающее на усиление кислотности почвенного раствора минеральных слоев, может быть связано с поступлением в них кислотных продуктов разложения подстилки, которое усилилось, благодаря восстановлению микрофлоры. Некоторое же уменьшение суммы поглощенных оснований и увеличение pH водного в подстилке и подзолистом горизонте первого участка (табл. 3) можно объяснить следующим. Сначала кислотные продукты разложения диссоциируют в почвенный раствор ионы водорода, вытесняющие из коллоидного комплекса поглощенные катионы основа-

ний. Последние, в свою очередь, затем не только полностью нейтрализуют кислоты почвенного раствора, но и смещают его реакцию к нейтральному диапазону ими (Лукина и др., 2008; Тарасов, Тарасова, 2020).

В следующем 2005 г. динамика физико-химических показателей подзолов носила более определенный характер, с одной стороны, обусловленный вымыванием зольных элементов, а с другой – поступлением кислотных продуктов разложения подстилки. Результатом этих процессов стало усиление всех форм почвенной кислотности (актуальной, обменной, гидролитической) при одновременном снижении суммы поглощенных оснований и степени насыщенности ими. При этом в отличие от 2004 г., данные изменения наблюдаются во всей исследуемой толще обоих экспериментальных участков при отсутствии между ними четких количественных различий (табл. 3).

Так, несколько большее снижение pH водного и солевого, указывающее на усиление актуальной и обменной кислотности, отмечается на первом участке с максимумом (на 0,3 и 0,2 единицы соответственно) в нижней части подзолистого горизонта. В то же время, на втором участке значительно изменились другие физико-химические показатели. При этом если гидролитическая кислотность возросла на величину от 0,59 до 0,12 м-экв./100 г, то сумма поглощенных оснований и степень насыщенности ими, напротив, уменьшились на 0,55–0,25 м-экв./100 г и 6,5–3,4 % соответственно (табл. 3).

Отмеченные особенности изменения физико-химических показателей подзолов, вероятнее всего, связаны с разной интенсивностью пожаров на экспериментальных участках, что, в свою очередь, обусловило соответствующие различия постпирогенной трансформации компонентов их насаждений. Так, например, на первом участке, где воздействие огня было менее интенсивным, более быстрое восстановление микрофлоры обусловило активизацию разложения подстилки и последующее поступление кислотных продуктов в минеральные слои, что усилило их кислотность. Изменения же физико-химических показателей на втором участке, где из-за гибели 70 % деревьев на поверхность почвы поступает больше послепожарного отпада и атмосферных осадков, вероятно, связаны с интенсификацией процессов элювирирования и оподзоливания. В результате этого усиливается водная миграция из подстилки в минеральные горизонты кислотных компонентов и их последующая аккумуляция (Лукина и др., 2008).

Таким образом, характер постпирогенной динамики физико-химических показателей подзолов, в целом, близок ранее установленному нами в подзолистой почве сосняка мертвопокровного, произрастающего в территориально близком Ангарском южно-таежном районе лиственнично-сосновых лесов (Тарасов, Тарасова, 2020). В большей степени это проявляется в начале постпирогенного периода, причем наиболее существенно – в лесной подстилке и подзолистом горизонте. Однако через три года после пожара в динамике физико-химических показателей отмечен обратный тренд в сторону их исходных значений, для достижения которых, вероятно, еще потребуется не более двух лет.

Таблица 3
Агрохимические показатели иллювиально-железистых песчаных подзолов

Горизонт, глубина, см	pH		Гидроли- тическая кислот- ность	Сумма поглощен- ных оснований	Степень насыщен- ности основания- ми, %	Гумус, %	С, %	Азот общий, %	C: N	N-NH ₄ , мг/кг	Подвижные, мг/кг	
	H ₂ O	KCl									м-экв./100 г	P ₂ O ₅
Контрольный участок												
O, 0–3	3,83	2,84	12,83	3,77	22,7	79,60*	39,80	0,900	44,2	13,8	242,0	157,0
E, 3–10	4,17	3,19	5,37	2,33	30,3	0,64	0,37	0,020	18,5	2,7	2,6	5,1
E, 10–15	4,60	3,42	2,74	2,58	48,5	0,35	0,20	0,013	15,4	2,3	20,0	3,9
BF1, 20–30	5,10	4,08	3,13	3,35	51,7	0,59	0,34	0,012	28,3	6,6	69,0	8,7
BF2, 35–45	5,12	4,19	2,21	2,77	55,6	0,52	0,30	0,011	27,3	6,0	65,0	6,0
2003 г. (через 1 год после пожара)												
Участок 1 (средняя интенсивность пожара)												
O, 0–2	4,07	3,14	11,72	4,25	26,6	77,12*	38,56	1,030	37,4	18,2	330,8	613,0
E, 2–10	4,71	3,79	2,26	3,03	57,3	0,58	0,33	0,036	9,2	5,3	6,7	31,9
E, 10–15	4,80	3,92	1,86	3,05	62,1	0,38	0,22	0,022	10,0	4,5	25,0	8,0
BF1, 20–30	5,12	4,22	1,80	4,11	69,5	0,60	0,35	0,017	20,6	7,2	75,5	30,0
BF2, 35–45	5,17	4,24	1,87	3,81	67,1	0,54	0,31	0,014	11,6	7,0	70,7	14,3
Участок 2 (высокая интенсивность пожара)												
O, 0–2	4,25	3,29	9,94	4,47	31,0	84,26*	42,13	1,310	32,2	20,4	396,2	676,8
E, 2–10	4,80	3,96	2,04	3,35	62,2	0,56	0,32	0,039	8,2	6,0	10,3	32,4
E, 10–15	4,89	4,00	1,73	3,18	64,8	0,42	0,24	0,028	8,6	5,7	32,0	29,2
BF1, 20–30	5,18	4,25	1,75	6,10	77,7	0,61	0,35	0,018	19,4	7,4	82,5	34,1
BF2, 35–45	5,15	4,21	1,55	5,85	79,1	0,55	0,32	0,015	21,3	7,3	75,8	30,4

Окончание таблицы 3

Горизонт, глубина, см	pH		Гидроли- тическая кислот- ность	Сумма поглощен- ных оснований	Степень насыщен- ности основания- ми, %	Гумус, %	С, %	Азот общий, %	С: N	N-NH ₄ , мг/кг	Подвижные, мг/кг	
	H ₂ O	KCl									м-экв./100 г	
2004 г. (через 2 года после пожара)												
Участок 1 (средняя интенсивность пожара)												
O, 0–2	4,34	3,51	7,71	4,11	34,8	78,04*	39,02	0,980	39,8	16,4	282,3	569,0
E, 2–10	4,99	4,05	2,03	2,83	58,2	0,56	0,32	0,030	10,7	4,8	7,1	35,0
E, 10–15	4,83	4,03	1,55	2,64	63,0	0,41	0,24	0,018	13,3	4,1	28,3	15,4
BF1, 20–30	4,90	4,24	1,42	5,03	78,0	0,58	0,33	0,014	23,6	6,5	79,5	37,8
BF2, 35–45	5,11	4,18	1,50	4,39	74,5	0,57	0,33	0,011	30,0	5,7	73,3	24,6
Участок 2 (высокая интенсивность пожара)												
O, 0–2	4,59	3,63	6,78	4,63	40,6	86,22*	43,11	1,270	33,9	18,7	310,4	611,0
E, 2–10	4,73	4,10	1,76	3,09	63,7	0,55	0,34	0,032	10,6	5,6	14,6	36,3
E, 10–15	4,65	4,02	1,50	2,61	63,5	0,45	0,26	0,018	14,4	5,3	39,4	24,4
BF1, 20–30	5,16	4,20	1,67	6,32	79,1	0,58	0,34	0,014	24,3	6,8	80,6	32,3
BF2, 35–45	5,07	4,14	1,34	5,09	79,2	0,55	0,32	0,011	29,1	6,2	77,5	32,7
2005 г. (через 3 года после пожара)												
Участок 1 (средняя интенсивность пожара)												
O, 0–2	4,29	3,35	8,22	3,92	32,3	78,64*	39,32	0,950	41,4	14,8	250,8	522,0
E, 2–10	4,70	3,94	2,08	2,65	56,0	0,60	0,35	0,028	12,5	4,0	3,3	33,5
E, 10–15	4,53	3,83	1,79	2,61	59,3	0,43	0,25	0,016	15,6	3,7	22,8	13,7
BF1, 20–30	4,82	4,12	1,45	5,01	77,6	0,57	0,33	0,012	27,5	5,8	72,6	36,1
BF2, 35–45	5,05	4,10	1,54	4,24	73,4	0,56	0,32	0,010	32,0	5,0	66,1	23,2
Участок 2 (высокая интенсивность пожара)												
O, 0–2	4,54	3,53	7,47	4,15	35,7	88,06*	44,03	1,200	36,7	15,2	261,7	554,6
E, 2–10	4,61	4,02	1,88	2,70	59,7	0,57	0,33	0,030	11,0	4,3	8,3	32,5
E, 10–15	4,47	3,88	1,65	2,36	58,9	0,47	0,27	0,015	16,9	4,0	29,2	18,0
BF1, 20–30	5,09	4,01	1,82	5,67	75,7	0,55	0,32	0,011	29,1	6,5	69,4	30,4
BF2, 35–45	5,01	4,03	1,73	4,60	72,7	0,55	0,32	0,010	32,0	5,8	63,3	31,0

Примечание. * – органическое вещество

Кроме того, экспериментальные пожары оказали влияние и на питательный режим подзолов, причем как прямое, так и косвенное. Первое связано с поступлением содержащихся в золе соединений фосфора и калия, а второе – с активизацией микробиологических процессов минерализации органического вещества, обуславливающей увеличение содержания аммонийного азота (Арефьева, 1963; Арефьева, Колесников, 1964; Попова, 1979, 1982; Стефин, 1981; Кулагина, 1982; Пирогенная..., 2005; Азотный..., 2007; Краснощеков и др., 2007; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020). В наибольшей мере это проявилось в лесной подстилке, что объясняется спецификой данного горизонта (Карпачевский, 1981, 1983; Богатырев, 1996), определяющей непосредственное термическое воздействие и поступление основной массы образующейся золы.

Так, через год после пожара содержание подвижных форм фосфора и калия в подстилке первого участка превышало контрольные значения соответственно на 37 и 290 %, а второго, на котором из-за высокой интенсивности пожара золы образовалось больше, – на 64 и 331 % (табл. 3). Значительно более высокое увеличение подвижного калия в подстилке экспериментальных участков обусловлено гораздо большей, по сравнению с фосфором, концентрацией данного элемента в золе (Шешуков и др., 1992; Краснощеков и др., 2007).

Однако, и в минеральных слоях почвы содержание подвижных форм фосфора и, особенно, калия также существенно возросло. В наибольшей мере это проявилось на втором участке, где превышение последнего над контрольными значениями в подзолистом горизонте было семи-, а в иллювиально-железистом – четырех-пятикратным (табл. 3). Увеличение же содержания подвижного фосфора было не столь существенным. При этом на обоих участках с глубиной слоя наблюдается заметное снижение относительных значений этого увеличения. Так, если содержание подвижного фосфора в верхнем слое подзолистого горизонта (2–10 см) первого и второго участков возросло, соответственно, на 235 и 415 %, то в нижней его части (10–15 см) – только на 25 и 64 %, а в иллювиально-железистом – вообще, лишь на 9 и 20–17 %.

Сопоставимые с нашими результаты ранее были получены Э. П. Поповой (1979, 1982, 1986), проводившей аналогичные исследования в сосняках Среднего Приангарья.

Отмеченная закономерность в содержании подвижных соединений фосфора и калия в профиле подзолов, вероятнее всего, обусловлена темпами постпирогенной водной миграции зольных элементов из подстилки в минеральные горизонты. Это, в известной мере, подтверждает анализ динамики данных показателей в последующие два послепожарных года (т. е. 2004 и 2005), в течение которых на обоих экспериментальных участках отмечается постепенное снижение содержания подвижных соединений фосфора и калия в подстилке (табл. 3). В то же время, их ожидаемое увеличение в минеральных слоях наблюдалось только в 2004 г., причем на втором участке – не во всех. В последующий же 2005 г. содержание подвиж-

ных фосфора и калия на обоих участках, напротив, уменьшается. При этом в слоях иллювиально-железистого горизонта содержание подвижного фосфора практически сравнивается с контрольным значением, что ранее наблюдалось нами в среднетаежных сосняках уже через 1–2 года после пожара низкой интенсивности (Воздействие..., 2014).

Таким образом, общий характер послепожарной динамики рассматриваемых показателей, в целом, сопоставим с описанным в многочисленных литературных источниках (Сапожников, 1976, 1979; Попова, 1979, 1982; Стефин, 1981; Тарабукина, Саввинов, 1990; Шешуков и др., 1992; Чевычелов, 2002; Пирогенная..., 2005; Краснощеков, 2004; Краснощеков и др., 2007; Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020). В то же время, по мнению Э. П. Поповой (1982), очень сложно судить о пирогенном влиянии на питательный режим почв только по содержанию доступных форм элементов питания, поскольку обеспеченность ими может быть завуалирована активным потреблением восстанавливающимися после пожара компонентами лесного биоценоза.

Известно, что большинству лесных почв характерен дефицит азота (Попова, 1983), который наиболее сильно проявляется в таких бедных почвах, как песчаные подзолы, где этот биогенный элемент является мощным фактором, лимитирующим развитие биоценозов (Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014). Исходя из этого, исследование постпирогенной динамики азота в указанных почвах представляет большой интерес.

Песчаные подзолы контрольного участка характеризуются низким содержанием общего азота с максимумом в подстилке, составляющим 0,9 %. В минеральных слоях наибольшее значение данного показателя (0,020 %) отмечено в верхней части подзолистого горизонта (3–10 см), которое постепенно уменьшается с глубиной до 0,011 % в BF2 (табл. 3).

Несмотря на газообразную потерю части почвенного азота, которая при высокоинтенсивных пожарах может составлять от 55 до 1000 кг/га (Уткин, 1965; Шешуков и др., 1992; Влияние контролируемого..., 2005), многие исследователи (Попова, 1979, 1997; 2005; Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020) отмечали увеличение его содержания на свежих гаях. По мнению М. А. Шешукова с соавторами (1992), это объясняется повышенной биологической фиксацией атмосферного азота почвенными микроорганизмами, численность которых даже после сильных пожаров восстанавливается уже через 2–3 месяца, а деятельность активизируется, благодаря снижению кислотности, увеличению доступных форм элементов питания и лучшему прогреванию верхних горизонтов почвы (Сорокин, 1983; Богородская и др., 2005, 2011; Богородская, Сорокин, 2006).

Как и в среднетаежных сосняках (Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014), через год после пожаров в подзолах обоих экспериментальных участков также наблюдается увеличение содержания общего азота и его минеральной аммонийной формы. В наибольшей мере это проявилось в подстилке и подзолистом горизонте, особенно, пройденного высокоинтенсивным

пожаром второго участка, где данные показатели в среднем возросли в полтора-два раза (табл. 3). Это соответствует данным других авторов, согласно которым постпирогенное увеличение содержания азота в почве напрямую зависит от силы термического воздействия (Фирсова, 1969; Попова, 1982; Краснощеков, 1994, 2004).

Главной причиной значительного увеличения общего азота в подстилке может быть активный послепожарный отпад хвои, из которой, из-за ее преждевременного отмирания, еще не произошел отток азотных соединений в корни (Азотный..., 2007). В подзолистом же горизонте данный показатель мог возрасти благодаря накоплению органического вещества мортмассы мелких корней, до 80 % которых в сосняках зеленомошной группы сосредоточено в слое 0–15 см (Бузыкин, 1975), а также аккумуляции в нем вымытых из подстилки водорастворимых соединений азота.

Однако, известно (Попова, 1983; Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014), что до 95–99 % общего почвенного азота представлено органическими соединениями, которые становятся доступными для растений только после сложной микробиологической трансформации, представленной в лесных почвах, преимущественно, процессами аммонификации. Благодаря их постпирогенному усилению происходит освобождение фиксированного аммония и переход его в обменное состояние (Фирсова, 1960; Арефьева, Колесников, 1964; Попова, 1982). В результате этого через год после пожара содержание аммонийного азота в подстилке первого и второго экспериментальных участков возросло соответственно на 31 и 48 %, в подзолистом горизонте – на 95–96 и 122–148 %, в иллювиально-железистом – на 9–17 и 17–25 % (табл. 3).

В последующие же два послепожарных года во всех исследуемых горизонтах отмечается постепенное снижение содержания как общего, так и аммонийного азота, хотя, в целом, данные показатели еще не достигли значений контрольного участка. Подобная динамика содержания азота и его соединений была отмечена нами в подзолах среднетаежных сосняков (Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014), а также другими авторами, проводившими аналогичные исследования в других регионах (Попова, 1982, 1997; Мажитова, 2000; Влияние контролируемого..., 2005; Краснощеков и др., 2007). По мнению Э. П. Поповой (1982, 1983), это, главным образом, обусловлено активной иммобилизацией микроорганизмами общего азота и связыванием его аммонийных форм в органические соединения.

В отличие от характера постпирогенной динамики азотного фонда почв, опубликованные данные о влиянии пожаров на содержание гумуса не столь однозначны. Так, если одна часть авторов отмечает его послепожарное уменьшение, степень которого определяется интенсивностью термического воздействия (Карпель, Короходша, 1979; Кучеров и др., 1979; Попова, 1979; Тарабукина, Саввинов, 1990; Зайдельман и др., 2003), то другая – напротив, указывает на резкое увеличение содержания гумуса, объясняя это различными причинами (Пшеничникова, Пшеничников, 1994; Цибарт, Геннадиев, 2008).

Исследования в первый послепожарный год обнаружили незначительное (менее 0,1 %) снижение содержания гумуса в верхней части подзолистого горизонта (2–10 см) обоих экспериментальных участков и еще меньшее (на сотые доли процента) увеличение данного показателя вниз по профилю (табл. 3). Одной из вероятных причин этого может быть усиление в верхнем слое подзолистого горизонта минерализации гумуса микроорганизмами (Сорокин, 1983; Богородская и др., 2005, 2011; Богородская, Сорокин, 2006), вследствие чего, он, судя по двукратному сокращению отношения C:N, обогащается азотом (Мякина, Аринушкина, 1979). Другая вероятная причина отмеченных изменений связана с ярко выраженным фульватным характером гумуса подзолов (Ведрова, Корсунов, 1986) и послепожарной активизацией процессов элювиирования и оподзоливания (Лукина и др., 2008). Одним из результатов последних как раз и является вынос гумуса из верхней части подзолистого горизонта и его накопление в иллювиально-железистом.

Во второй послепожарный год, по сравнению с предыдущим, изменения в содержании гумуса в подзолах экспериментальных участков проявились еще в меньшей степени и не имели какой-либо общей закономерности. Однако на третий год после пожара на обоих участках наблюдалось очень незначительное (на 0,02–0,04 %) увеличение данного показателя в подзолистом горизонте и еще меньшее его снижение в иллювиально-железистом (табл. 3). Тем самым, в постпирогенной динамике гумуса прослеживается определенный тренд к постепенному нивелированию различий в его содержании с контрольным негоревшим участком, что ранее отмечалось в некоторых работах (Цибарт, Геннадиев, 2008, 2009).

Кроме того, следует отметить, что в отличие от других рассмотренных агрохимических показателей, сколько-либо существенных различий в содержании гумуса между экспериментальными участками не выявлено. Возможно, это связано с крайне неблагоприятными условиями гумусообразования, столь характерными для исследуемых песчаных подзолов (Ведрова, Корсунов, 1986).

ВЫВОДЫ

Таким образом, характер постпирогенной динамики агрохимических показателей песчаных подзолов в лишайниково-зеленомошных сосняках южной тайги, в целом, близок ранее установленному в других почвенных типах и лесорастительных условиях.

При этом в наибольшей степени изменения данных показателей проявляются в лесной подстилке, на которую пирогенное воздействие было максимальным. Так, постепенное увеличение содержания в ней органического вещества, углерода и общего азота обусловлено активным поступлением отпада хвои. Усиление же деятельности почвенной микрофлоры определило заметное возрастание в первый послепожарный год аммонийного азота, содержание которого, однако, имеет тенденцию к снижению. В то же время, в содержании гумуса практически не наблюдается сколько-либо существенная постпирогенная динамика.

В свою очередь, единовременное поступление зольных элементов является главной причиной изменений физико-химических показателей и содержания доступных форм фосфора и калия. Они заключаются в ослаблении всех видов почвенной кислотности при одновременном увеличении суммы поглощенных оснований и степени насыщенности ими улучшении условий минерального питания. При этом наиболее сильно эти изменения также проявляются в первый послепожарный год с последующим трендом данных показателей к значениям контрольного участка.

В завершение следует отметить наличие определенной зависимости степени указанных постпирогенных изменений агрохимических показателей иллювиально-железистых песчаных подзолов от интенсивности пожара. Кроме того, определенный общий характер этих изменений, в целом, сопоставим с результатами исследований аналогичных почв, проведенных в среднетаежных сосняках той же лишайниково-зеленомошной группы. Следовательно, в однотипных лесорастительных условиях влияние пожаров равной интенсивности на близкие по своим исходным характеристикам почвы, а также постпирогенная динамика их агрохимических показателей имеет определенные общие закономерности.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Зырянова О. А. Эколого-фитоценотическая оценка воздействия пожаров на леса криолитозоны Средней Сибири // Сибирский экологический журнал. 1996. № 1. С. 51–60.
2. Азотный фонд песчаных подзолов после контролируемых выжиганий сосняков Средней Сибири / И. Н. Безкоровайная, П. А. Тарасов, Г. А. Иванова [и др.] // Почвоведение. 2007. № 6. С. 775–783.
3. Амосов Г. А. Некоторые особенности горения при лесных пожарах. Л. : ЛенНИИЛХ. 1958. 30 с.
4. Арефьева З. Н. Влияние огня на некоторые биохимические процессы в лесных почвах // Труды Ин-та биологии УФ АН СССР. Уфа: Ин-т биологии УФ АН СССР. 1963. Вып. 36. С. 39–55.
5. Арефьева З. Н., Колесников Б. П. Динамика аммиачного и нитратного азота в лесных почвах Зауралья при высоких и низких температурах // Почвоведение. 1964. № 3. С. 30–43.
6. Богатырев Л. Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. 1996. № 4. С. 501–511.
7. Богородская А. В., Иванова Г. А., Сорокин Н. Д. Влияние пирогенного фактора на микробные комплексы почв сосняков Средней Сибири // Лесоведение. 2005. № 2. С. 25–31.
8. Богородская А. В., Иванова Г. А., Тарасов П. А. Послепожарная трансформация микробных комплексов почв лиственничников Нижнего Приангарья // Почвоведение. 2011. № 1. С. 56–63.
9. Богородская А. В., Сорокин Н. Д. Микробиологическая диагностика состояния пирогенно-измененных почв сосняков Нижнего Приангарья // Почвоведение. 2006. № 10. С. 1258–1266.
10. Бузыкин А. И. Влияние низовых пожаров на сосновые леса Среднего Приангарья // Охрана лесных ресурсов Сибири. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1975. С. 141–153.
11. Ведрова, Э. Ф., Корсунов В. М. Миграция водорастворимых продуктов в почвах сосновых лесов // Почвы сосновых лесов Сибири. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1986. С. 24–33.
12. Влияние контролируемого выжигания шелкопрядников на свойства дерново-подзолистых почв в Нижнем Приангарье / Ю. Н. Краснощеков, Э. Н. Валлендик, И. Н. Безкоровайная [и др.] // Лесоведение. 2005. № 5. С. 16–24.
13. Влияние пожаров на эмиссии углерода в сосновых лесах Средней Сибири / Г. А. Иванова, В. А. Иванов, Е. А. Кукавская [и др.] // Сибирский экологический журнал. 2007. № 6. С. 885–895.
14. Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков / Г. А. Иванова, С. Г. Корнард, Д. Д. Макрае [и др.]. Новосибирск : Наука, 2014. 232 с.
15. Зайдельман Ф. Р., Морозова Д. И., Шваров А. Л. Изменение свойств пирогенных образований и растительности на сгоревших осушенных торфяных почвах полесий // Почвоведение. 2003. № 11. С. 1300–1309.
16. Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы. М. : Лесная промышленность, 1981. 264 с.
17. Карпачевский Л. О. Подстилка – особый биогеогоризонт лесного биогеоценоза // Роль подстилки в лесных биогеоценозах. М. : Изд-во АН СССР, 1983. С. 88–89.
18. Карпель Б. А., Короходкша В. Т. Изменение почвенных условий после пожаров // Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск : Наука, 1979. С. 75–87.
19. Классификация и диагностика почв России / сост. Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедев, М. И. Герасимова. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
20. Краснощеков Ю. Н. Влияние пожаров на свойства горных дерново-таежных почв лиственничников Монголии // Почвоведение. 1994. № 9. С. 102–109.
21. Краснощеков Ю. Н. Почвозащитная роль горных лесов бассейна озера Байкал. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. – 224 с.
22. Краснощеков Ю. Н., Безкоровайная И. Н., Кузьмиченко В. В. Трансформация свойств лесной подстилки при контролируемом выжигании шелкопрядников в Нижнем Приангарье // Почвоведение. 2007. № 2. С. 170–178.
23. Кукавская Е. А., Иванова Г. А. Воздействие лесных пожаров на биомассу сосновых насаждений Средней Сибири // Вестник КрасГАУ. 2006. № 2. С. 156–162.
24. Кулагина М. А. Влияние низового пожара на биогенную миграцию элементов питания в сосняке багульниково-брусничном // Эколого-фитоценотические особенности лесов Сибири. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1982. С. 24–37.
25. Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. С. 5–58.

26. Курбатский Н. П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М. : Гослесбумиздат, 1962. 154 с.
27. Кучеров Е. В., А. Х. Мукатанов, А. Х. Галева. Влияние лесных пожаров на свойства почв и травяно-кустарничковый ярус в сосняках Южного Урала // Горение и пожары в лесу. Часть III. Лесные пожары и их последствия. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1979. С. 104–110.
28. Лукина Н. В., Полянская Л. М., Орлова М. А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М. : Наука, 2008. 342 с.
29. Мажитова Г. Г. Пирогенная динамика мерзлотных почв Колымского нагорья // Почвоведение. 2000. № 5. С. 619–629.
30. Мякина Н. Б., Аринушкина Е. В. Методическое пособие для чтения результатов химических анализов почв. М. : Изд-во МГУ, 1979. 62 с.
31. Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края / И. Н. Безкоровайная, П. А. Тарасов, Г. А. Иванова [и др.] // Сибирский экологический журнал. 2005. № 1. С. 143–152.
32. Попова Э. П. Азот в лесных почвах. Новосибирск : Наука, 1983. 163 с.
33. Попова Э. П. О продолжительности пирогенного воздействия на свойства лесных почв // Горение и пожары в лесу. Часть III. Лесные пожары и их последствия. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1979. С. 110–117.
34. Попова Э. П. Пирогенная трансформация свойств лесных почв Среднего Приангарья // Сибирский экологический журнал, 1997. № 4. С. 413–418.
35. Попова Э. П. Экологическая роль пожаров в почвообразовании // Почвенно-экологические исследования в лесных биогеоценозах. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1982. С. 119–174.
36. Постпирогенные изменения гидротермических параметров почв среднетаежных сосняков / П. А. Тарасов, В. А. Иванов, Г. А. Иванова [и др.] // Почвоведение. 2011. № 7. С. 795–803.
37. Практикум по почвоведению / И. С. Кауричев, Н. П. Панов, М. В. Странович [и др.] / под ред. И. С. Кауричева. М. : Колос, 1980. 272 с.
38. Прокушкин С. Г., Сорокин Н. Д., Цветков П. А. Экологические последствия пожаров в лиственничниках северной тайги Красноярского края // Лесоведение. 2000. № 4. С. 9–15.
39. Пшеничникова Н. Ф., Пшеничников Б. Ф. Роль пирогенного фактора в формировании горнолесных почв Приморья // Генезис и биология почв юга Дальнего Востока. Владивосток : ДВО РАН, 1994. С. 58–61.
40. Санников С. Н., Санникова Н. С., Петрова И. В. Естественное возобновление в Западной Сибири: эколого-географический очерк. Екатеринбург : УрО РАН, 2004. 199 с.
41. Сапожников А. П. Биогеоценотические и лесоводственные аспекты пирогенеза лесных почв // Горение и пожары в лесу. Часть III. Лесные пожары и их последствия. – Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1979. С. 96–104.
42. Сапожников А. П. Роль огня в формировании лесных почв // Экология. 1976. № 1. С. 42–46.
43. Смольянинов И. И., Мигунова Е. С., Гладкий А. С. Почвенная лаборатория лесхоза. М. : Лесн. пром-сть, 1966. 144 с.
44. Соколов В. А., Фарбер С. К. Возобновление в лесах Восточной Сибири. Новосибирск : Наука, Изд-во СО РАН, 2006. 219 с.
45. Сорокин Н. Д. Влияние лесных пожаров на биологическую активность почв // Лесоведение. 1983. № 4. С. 24–28.
46. Средняя Сибирь / Л. Г. Каманин, Б. Н. Лиханов, В. Г. Петухов [и др.] / отв. ред. Л. Г. Каманин и Б. Н. Лиханов. М. : Наука, 1964. 480 с.
47. Стефин В. В. Антропогенные воздействия на горно-лесные почвы. Новосибирск : Наука, Сиб. отделение, 1981. 169 с.
48. Сукачев В. Н., Зонн С. В. Методические указания к изучению типов леса. М. : Изд-во АН СССР, 1961. 143 с.
49. Тарабукина В. Г., Саввинов Д. Д. Влияние пожаров на мерзлотные почвы. Новосибирск : Наука, 1990. 120 с.
50. Тарасов П. А., Иванов В. А., Гайдуклова А. Ф. Анализ динамики роста и развития самосева сосны обыкновенной на гари // Хвойные бореальной зоны. 2012. № 3-4. С. 284–290.
51. Тарасов П. А., Иванов В. А., Иванова Г. А. Влияние пожаров на кислотность почв // Химико-лесной комплекс – проблемы и решения. Красноярск : СибГТУ, 2003. С. 75–81.
52. Тарасов П. А., Тарасова А. В. Исследование постпирогенной динамики агрохимических показателей подзолистой почвы // Хвойные бореальной зоны. 2020. № 5-6. С. 277–285.
53. Уткин А. И. Влияние огня на природу и формирование лиственничников Центральной Якутии // Лесное хозяйство. 1965. № 1. С. 46–51.
54. Фирсова В. П. Влияние огневой очистки лесосек на водно-физические свойства почв сосновых лесов юго-востока Свердловской области // Почвы и гидрологический режим лесов Урала. Свердловск : УФ СО АН СССР, 1963. Вып. 36. С. 29–38.
55. Фирсова В. П. Лесные почвы Свердловской области и их изменения под влиянием лесохозяйственных мероприятий // Труды ин-та экологии растений и животных УФ АН СССР. Свердловск : УФ СО АН СССР, 1969. Вып. 63. 152 с.
56. Цветков П. А., Сорокин Н. Д., Прокушкин С. Г. Эдафические условия и лесовосстановление после пожаров в лиственничниках Эвенкии // Лесоведение. 2001. № 2. С. 16–21.
57. Цибарт А. С., Геннадиев А. Н. Влияние пожаров на свойства лесных почв Приамурья (Норский заповедник) // Почвоведение. 2008. № 7. С. 783–792.
58. Цибарт А. С., Геннадиев А. Н. Направленность изменения лесных почв Приамурья под воздействием пирогенного фактора // Вестник Московского университета. Серия 5. География. 2009. № 3. С. 66–74.
59. Чевычелов А. П. Пирогенез и постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 273–277.

60. Чевычелов А. П., Шахматова Е. Ю. Постпирогенные полициклические почвы в лесах Якутии и Забайкалья // Почвоведение. 2018. № 2. С. 243–252.

61. Шешуков М. А., Савченко А. П., Пешков В. В. Лесные пожары и борьба с ними на севере Дальнего Востока. Хабаровск : ДальНИИЛХ, 1992. 95 с.

62. Экологическая и лесообразующая роль пожаров в криолитозоне Сибири / А. П. Абаимов, С. Г. Прокушкин, О. А. Зырянова [и др.] // Лесоведение. 2001. № 5. С. 50–59.

63. Alexander M. E. Calculating and interpreting forest fire intensities // Can. J. Bot. 60. 1982. P. 349–357.

64. Alexander M. E., Stocks B. J., Lawson B. D. Fire Behavior in Black Spruce-lichen Woodland: The Porter Lake Project // For. Can.-Edmonton, AB., Info. Rep. NOR-X-310. 1991. 55 p.

65. Blank R. W., Simard A. J. An Electronic Timer for Measuring Spread Rates of Wildland Fires // USDA FS, North Central For. Exp. Sta., St. Pauls, MN, Res. Note NC-304. 1983. 4 p.

66. Byram G. M. Combustion of forest fuels, in K.P. Davis (ed.), Forest Fire: Control and Use. McGraw-Hill. New York, NY. 1959. P. 61–89.

67. Influence of fire on the soil temperatures in pine forests of the middle taiga (Central Siberia, Russia) / I. N. Bezkorovaynaya, P. A. Tarasov, I. G. Gette [et al.] // Journal of Forestry Research. 2021. 32 (3). P. 1139–1145.

68. McRae D. J., Alexander M. E., Stocks B. J. Measurement of fuels and fire behavior on prescribed burns / A Handbook. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, ON, Inf. Rep. O-X-287. 1979. 44 p.

69. Succession of vegetation after a high-intensity fire in a pine forest with lichen / G. A. Ivanova, N. M. Kovaleva, S. V. Zhila [et al.] // Contemporary Problems of Ecology. 2017. T. 10. № 1. P. 52–61.

70. Walker J. D., Stocks B. J. The fuel complex of mature and immature Jack Pine stands in Ontario. Canadian forestry service Department of the environment. Report O-X-229. 1975. Sault Ste Marie, Ontario. 19 p.

REFERENCES

1. Abaimov A. P., Prokushkin S. G., Zyryanova O. A. Ekologo-fitotsenoticheskaya otsenka vozdystviya pozharov na lesa kriolitozony Sredney Sibiri // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 1996. № 1. S. 51–60.

2. Azotnyy fond peschanykh podzolov posle kontroliruyemykh vyzhiganiy sosnyakov Sredney Sibiri / I. N. Bezkorovaynaya, P. A. Tarasov, G. A. Ivanova [i dr.] // Pochvovedeniye. 2007. № 6. S. 775–783.

3. Amosov G. A. Nekotor-yye osobennosti goreniya pri lesnykh pozharakh. L. : LeNNILKH. 1958. 30 s.

4. Aref'yeva Z. N. Vliyaniye ognya na nekotor-yye biokhimicheskiye protsessy v lesnykh pochvakh // Trudy In-ta biologii UF AN SSSR. Ufa: In-t biologii UF AN SSSR. 1963. Vyp. 36. S. 39–55.

5. Aref'yeva Z. N., Kolesnikov B. P. Dinamika ammiachnogo i nitratnogo azota v lesnykh pochvakh Zaural'ya pri vysokikh i nizkikh temperaturakh // Pochvovedeniye. 1964. № 3. S. 30–43.

6. Bogatyrev L. G. Obrazovaniye podstilok – odin iz vazhneyshikh protsessov v lesnykh ekosistemakh // Pochvovedeniye. 1996. № 4. S. 501–511.

7. Bogorodskaya A. V., Ivanova G. A., Sorokin N. D. Vliyaniye pirogennoy faktora na mikrobn-yye komplekсы pochv sosnyakov Sredney Sibiri // Lesovedeniye. 2005. № 2. S. 25–31.

8. Bogorodskaya A. V., Ivanova G. A., Tarasov P. A. Poslepozharaya transformatsiya mikrobn-yykh kompleksov pochv listvennichnikov Nizhnego Priangar'ya // Pochvovedeniye. 2011. № 1. S. 56–63.

9. Bogorodskaya A. V., Sorokin N. D. Mikrobiologicheskaya diagnostika sostoyaniya pirogenno-izmenen-nykh pochv sosnyakov Nizhnego Priangar'ya // Pochvovedeniye. 2006. № 10. S. 1258–1266.

10. Buzykin A. I. Vliyaniye nizovykh pozharov na sosnov-yye lesa Srednego Priangar'ya // Okhrana lesnykh resursov Sibiri. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1975. S. 141–153.

11. Vedrova, E. F., Korsunov V. M. Migratsiya vodorastvorimyykh produktov v pochvakh sosnovykh lesov // Pochvy sosnovykh lesov Sibiri. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1986. S. 24–33.

12. Vliyaniye kontroliruyemogo vyzhiganiya shelkopryadnikov na svoystva dernovo-podzolistykh pochv v Nizhnem Priangar'ye / Yu. N. Krasnoshchekov, E. N. Valendik, I. N. Bezkorovaynaya [i dr.] // Lesovedeniye. 2005. № 5. S. 16–24.

13. Vliyaniye pozharov na emissii ugleroda v sosnovykh lesakh Sredney Sibiri / G. A. Ivanova, V. A. Ivanov, Ye. A. Kukavskaya [i dr.] // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2007. № 6. S. 885–895.

14. Vozydstviye pozharov na komponenty ekosistemy srednetayezhnykh sosnyakov / G. A. Ivanova, S. G. Konard, D. D. Makraye [i dr.]. Novosibirsk : Nauka, 2014. 232 s.

15. Zaydel'man F. R., Morozova D. I., Shvarov A. L. Izmeneniye svoystv pirogenykh obrazovaniy i ras-titel'-nosti na sgorevshikh osushennykh torfyanykh pochvakh polesiy // Pochvovedeniye. 2003. № 11. S. 1300–1309.

16. Karpachevskiy L. O. Les i lesn-yye pochvy. M. : Lesnaya promyshlennost', 1981. 264 s.

17. Karpachevskiy L. O. Podstilka – osoby biogeogorizont lesnogo biogeotsenoza // Rol' podstilki v lesnykh biogeotsenozakh. M. : Izd-vo AN SSSR, 1983. S. 88–89.

18. Karpel' B. A., Korokhodksha V. T. Izmeneniye pochvennykh usloviy posle pozharov // Lesn-yye pozhary v Yakutii i ikh vliyaniye na prirodu lesa. Novosibirsk : Nauka, 1979. S. 75–87.

19. Klassifikatsiya i diagnostika pochv Rossii / sost. L. L. Shishov, V. D. Tonkonogov, I. I. Lebedev, M. I. Gerasimova. Smolensk : Oykumena, 2004. 342 s.

20. Krasnoshchekov Yu. N. Vliyaniye pozharov na svoystva gornykh dernovo-tayezhnykh pochv listvennichnikov Mongolii // Pochvovedeniye. 1994. № 9. S. 102–109.

21. Krasnoshchekov Yu. N. Pochvozashchitnaya rol' gornykh lesov basseyna ozera Baykal. Novosibirsk : Izd-vo SO RAN, 2004. 224 s.

22. Krasnoshchekov Yu. N., Bezkorovaynaya I. N., Kuz'michenko V. V. Transformatsiya svoystv lesnoy podstilki pri kontroliruyemom vyzhiganiy shelkopryadnikov v Nizhnem Priangar'ye // Pochvovedeniye. 2007. № 2. S. 170–178.

23. Kukavskaya Ye. A., Ivanova G. A. Vozdeystviye lesnykh pozharov na biomassu osnovnykh nasazhdeniy Sredney Sibiri // Vestnik KraSGAU. 2006. № 2. S. 156–162.
24. Kulagina M. A. Vliyaniye nizovogo pozhara na biogennuyu migratsiyu elementov pitaniya v sosnyake bagul'nikovo-brusnichnom // Ekologo-fitotsenoticheskiye osobennosti lesov Sibiri. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1982. S. 24–37.
25. Kurbatskiy N. P. Issledovaniye kolichestva i svoystv lesnykh goryuchikh materialov // Voprosy lesnoy pirologii. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1970. S. 5–58.
26. Kurbatskiy N. P. Tekhnika i taktika tusheniya lesnykh pozharov. M. : Goslesbumizdat, 1962. 154 s.
27. Kucherov Ye. V., A. Kh. Mukatanov, A. Kh. Galeva. Vliyaniye lesnykh pozharov na svoystva pochv i travyano-kustarnichkovyy yarus v sosnyakakh Yuzhnogo Urala // Goreniiye i pozhary v lesu. Chast' III. Lesn-yye pozhary i ikh posledstviya. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1979. S. 104–110.
28. Lukina N. V., Polyanskaya L. M., Orlova M. A. Pitatel'nyy rezhim pochv severotayezhnykh lesov. M. : Nauka, 2008. 342 s.
29. Mazhitova G. G. Pirogennaya dinamika merzlotnykh pochv Kolymского nagor'ya // Pochvovedeniye. 2000. № 5. S. 619–629.
30. Myakina N. B., Arinushkina Ye. V. Metodicheskoye posobiye dlya chteniya rezul'tatov khimicheskikh anali-zov pochv. M. : Izd-vo MGU, 1979. 62 s.
31. Pirogennaya transformatsiya pochv sosnyakov sredney taygi Krasnoyarskogo kraya / I. N. Bezkorovaynaya, P. A. Tarasov, G. A. Ivanova [i dr.] // Sibirskiy ekologicheskii zhurnal. 2005. № 1. S. 143–152.
32. Popova E. P. Azot v lesnykh pochvakh. Novosibirsk : Nauka, 1983. 163 s.
33. Popova E. P. O prodolzhitel'nosti pirogennogo vozdeystviya na svoystva lesnykh pochv // Goreniiye i pozhary v lesu. Chast' III. Lesn-yye pozhary i ikh posledstviya. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1979. S. 110–117.
34. Popova E. P. Pirogennaya transformatsiya svoystv lesnykh pochv Srednego Priangar'ya // Sibirskiy ekologicheskii zhurnal, 1997. № 4. S. 413–418.
35. Popova E. P. Ekologicheskaya rol' pozharov v pochvoobrazovanii // Pochvenno-ekologicheskoye issledovaniya v lesnykh biogeotsenozakh. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd.-niye, 1982. S. 119–174.
36. Postpirogenn-yye izmeneniya gidrotermicheskikh parametrov pochv srednetayezhnykh sosnyakov / P. A. Tarasov, V. A. Ivanov, G. A. Ivanova [i dr.] // Pochvovedeniye. 2011. № 7. S. 795–803.
37. Praktikum po pochvovedeniyu / I. S. Kaurichev, N. P. Panov, M. V. Stranovich [i dr.] / pod red. I. S. Kauricheva. M. : Kolos, 1980. 272 s.
38. Prokushkin S. G., Sorokin N. D., Tsvetkov P. A. Ekologicheskoye posledstviya pozharov v listvennikakh severnoy taygi Krasnoyarskogo kraya // Lesovedeniye. 2000. № 4. S. 9–15.
39. Pshenichnikova N. F., Pshenichnikov B. F. Rol' pirogennogo faktora v formirovanii gornolesnykh pochv Primor'ya // Genezis i biologiya pochv yuga Dal'nego Vostoka. Vladivostok : DVO RAN, 1994. S. 58–61.
40. Sannikov S. N., Sannikova N. S., Petrova I. V. Yestestvennoye vozobnovleniye v Zapadnoy Sibiri: ekologo-geograficheskiy ocherk. Yekaterinburg : URO RAN, 2004. 199 s.
41. Sapozhnikov A. P. Biogeotsenoticheskiye i lesovodstvenn-yye aspekty pirogeneza lesnykh pochv // Goreniiye i pozhary v lesu. Chast' III. Lesn-yye pozhary i ikh posledstviya. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1979. S. 96–104.
42. Sapozhnikov A. P. Rol' ognya v formirovanii lesnykh pochv // Ekologiya. 1976. № 1. S. 42–46.
43. Smol'yaninov I. I., Migunova Ye. S., Gladkiy A. S. Pochvennaya laboratoriya leskhoza. M. : Lesn. prom-st', 1966. 144 s.
44. Sokolov V. A., Farber S. K. Vozobnovleniye v lesakh Vostochnoy Sibiri. Novosibirsk : Nauka, Izd-vo SO RAN, 2006. 219 s.
45. Sorokin N. D. Vliyaniye lesnykh pozharov na biologicheskuyu aktivnost' pochv // Lesovedeniye. 1983. № 4. C. 24–28.
46. Srednyaya Sibir' / L. G. Kamanin, B. N. Likhanov, V. G. Petukhov [i dr.] / otv. red. L. G. Kamanin i B. N. Likhanov. M. : Nauka, 1964. 480 s.
47. Stefin V. V. Antropogenn-yye vozdeystviya na gornolesnyye pochvy. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd., 1981. 169 s.
48. Sukachev V. N., Zonn S. V. Metodicheskoye ukazaniya k izucheniyu tipov lesa. M. : Izd-vo AN SSSR, 1961. 143 s.
49. Tarabukina V. G., Savvinov D. D. Vliyaniye pozharov na merzlotn-yye pochvy. Novosibirsk : Nauka, 1990. 120 s.
50. Tarasov P. A., Ivanov V. A., Gaydukova A. F. Analiz dinamiki rosta i razvitiya samoseva sosny obyknovennoy na gari // Khvoyn-yye boreal'noy zony. 2012. № 3-4. S. 284–290.
51. Tarasov P. A., Ivanov V. A., Ivanova G. A. Vliyaniye pozharov na kislotnost' pochv // Khimiko-lesnoy kompleks – problemy i resheniya. Krasnoyarsk : SibGTU, 2003. S. 75–81.
52. Tarasov P. A., Tarasova A. V. Issledovaniye postpirogennoy dinamiki agrokhimicheskikh pokazateley podzolistoy pochvy // Khvoyn-yye boreal'noy zony. 2020. № 5-6. S. 277–285.
53. Utkin A. I. Vliyaniye ognya na prirodu i formirovaniye listvennichnikov Tsentral'noy Yakutii // Lesnoye khozyaystvo. 1965. № 1. S. 46–51.
54. Firsova V. P. Vliyaniye ognevoy ochistki lesosok na vodno-fizicheskiye svoystva pochv osnovnykh le-sov yugo-vostoka Sverdlovskoy oblasti // Pochvy i gidrologicheskyy rezhim lesov Urala. Sverdlovsk : UF SO AN SSSR, 1963. Vyp. 36. S. 29–38.
55. Firsova V. P. Lesn-yye pochvy Sverdlovskoy oblasti i ikh izmeneniya pod vliyaniem lesokhozyaystvennykh meropriyatii // Trudy in-ta ekologii rasteniy i zhivotnykh UF AN SSSR. Sverdlovsk : UF SO AN SSSR, 1969. Vyp. 63. 152 s.
56. Tsvetkov P. A., Sorokin N. D., Prokushkin S. G. Edaficheskiye usloviya i lesovosstanovleniye posle pozharov v listvennichnikakh Evenkii // Lesovedeniye. 2001. № 2. S. 16–21.
57. Tsibart A. S., Gennadiyev A. N. Vliyaniye pozharov na svoystva lesnykh pochv Priamur'ya (Norskiy zapovednik) // Pochvovedeniye. 2008. № 7. S. 783–792.

58. Tsibart A. S., Gennadiyev A. N. Napravlennost' izmeneniya lesnykh pochv Priamur'ya pod vozdeystvi-
em pirogennogo faktora // Vestnik Moskovskogo univer-
siteta. Seriya 5. Geografiya. 2009. № 3. S. 66–74.

59. Chevychelov A. P. Pirogenез i postpirogennyye
transformatsii svoystv i sostava merzlotnykh pochv // Sibirskiy ekologicheskiy zhurnal. 2002. № 3. S. 273–277.

60. Chevychelov A. P., Shakhmatova Ye. Yu. Postpirogennyye politsiklicheskiye pochvy v lesakh Yakutii i Za-baykal'ya // Pochvovedeniye. 2018. № 2. S. 243–252.

61. Sheshukov M. A., Savchenko A. P., Peshkov V. V. Lesn-yye pozhary i bor'ba s nimi na severe Dal'nego Vostoka. Khabarovsk : Dal'NIILKH, 1992. 95 s.

62. Ekologicheskaya i lesoobrazuyushchaya rol' pozharov v kriolitozone Sibiri / A. P. Abaimov, S. G. Prokushkin, O. A. Zyryanova [i dr.] // Lesovedeniye. 2001. № 5. S. 50–59.

63. Alexander M. E. Calculating and interpreting forest fire intensities // Can. J. Bot. 60. 1982. P. 349–357.

64. Alexander M. E., Stocks B. J., Lawson B. D. Fire Behavior in Black Spruce-lichen Woodland: The Porter Lake Project // For. Can.-Edmonton, AB., Info. Rep. NOR-X-310. 1991. 55 r.

65. Blank R. W., Simard A. J. An Electronic Timer for Measuring Spread Rates of Wildland Fires // USDA

FS, North Central For. Exp. Sta., St. Pauls, MN, Res. Note NC-304. 1983. 4 r.

66. Byram G. M. Combustion of forest fuels, in K.P. Davis (ed.), Forest Fire: Control and Use. McGraw-Hill. New York, NY. 1959. P. 61–89.

67. Influence of fire on the soil temperatures in pine forests of the middle taiga (Central Siberia, Russia) / I. N. Bezkorovaynaya, P. A. Tarasov, I. G. Gette [et al.] // Journal of Forestry Research. 2021. 32 (3). R. 1139–1145.

68. McRae D. J., Alexander M. E., Stocks B. J. Measurement of fuels and fire behavior on prescribed burns / A Handbook. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, ON, Inf. Rep. O-X-287. 1979. 44 p.

69. Succession of vegetation after a high-intensity fire in a pine forest with lichen / G. A. Ivanova, N. M. Kovaleva, S. V. Zhila [et al.] // Contemporary Problems of Ecology. 2017. T. 10. № 1. R. 52–61.

70. Walker J. D., Stocks B. J. The fuel complex of mature and immature Jack Pine stands in Ontario. Canadian forestry service Department of the environment. Report O-X-229. 1975. Sault Ste Marie, Ontario. 19 p.

© Тарасов П. А., Иванов В. А.,
Иванова Г. А., Безкоровайная И. Н., 2023

Поступила в редакцию 26.10.2022
Принята к печати 04.04.2023