

ИССЛЕДОВАНИЕ ПИРОГЕННОГО ВЛИЯНИЯ НА АГРОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПОЧВ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «ШУШЕНСКИЙ БОР»

П. А. Тарасов, А. В. Тарасова

Сибирский 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

Приводятся результаты агрохимических исследований дерново-боровой песчаной и серогумусовой легкосуглинистой почв, сформировавшихся на различных элементах мезорельефа, но в близких по лесоводственным показателям насаждениях, пройденных одинаковыми по силе низовыми беглыми пожарами.

Установлено, что постпирогенные изменения основных агрохимических показателей исследуемых почв, в целом, имеют общий тренд. Вместе с тем, степень этих изменений определяется такими факторами, как рельеф и исходные свойства почвы.

Так, например, из-за очень большой скорости распространения огня, обусловленной расположением дерново-боровой почвы на крутом южном склоне, ее подстилка в меньшей мере подверглась пиролизу. Вследствие этого сокращение мощности и запаса подстилки здесь проявилось несколько слабее, что, в свою очередь, определило и меньшее изменение физико-химических показателей, а также содержания подвижных фосфора и калия. Кроме того, в немаловажной мере это связано и с активным влиянием поверхностного и внутрипочвенного стока, обусловленным расположением данной почвы на склоне и высокой водопроницаемостью, в связи с ее песчаным гранулометрическим составом.

Фактором же, определившим заметно меньшее постпирогенное увеличение аммонийного азота в дерново-боровой почве, является сочетание более низкого общего содержания данного элемента и гумуса с характерными для южных склонов неблагоприятными для микроорганизмов гидротермическими условиями их минерализации.

Таким образом, при воздействии одинаковых по силе пожаров на близкие по своим характеристикам лесные биогеоценозы, определяющую роль в количественных постпирогенных изменениях агрохимических показателей их почв играют исходные свойства последних и рельеф.

Ключевые слова: *сосняки зеленомошно-разнотравные, низовые беглые пожары, дерново-боровая и серогумусовая почва, лесная подстилка, агрохимические показатели.*

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 3, P. 65–74

RESEARCH OF THE PYROGENIC EFFECT ON AGROCHEMICAL INDICATORS OF SOILS IN SHUSHENSKY BOR NATIONAL PARK

P. A. Tarasov, A. V. Tarasova

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: avyatar@yandex.ru

The results of agrochemical studies of sod-boron sandy and gray humus light loamy soils formed on various elements of the mesorelief, but in plantations close in terms of forestry indicators, traversed by low-level runaway fires of the same strength, are presented.

It has been established that post-pyrogenic changes in the main agrochemical indicators of the studied soils, in general, have a general trend. However, the extent of these changes is determined by factors such as topography and soil properties.

So, for example, due to the very high rate of fire propagation due to the location of the sod-boron soil on a steep southern slope, its litter was to a lesser extent subjected to pyrolysis. As a result, the reduction in the capacity and stock of litter was somewhat weaker here, which, in turn, determined a smaller change in physico-chemical parameters, as well as the content of mobile phosphorus and potassium. In addition, to an important extent, this is due to the active influence of surface and subsurface runoff, due to the location of this soil on a slope and high-water permeability, due to its sandy granulometric composition.

The factor that determined a noticeably lower post-pyrogenic increase in ammonium nitrogen in sod-boron soil is the combination of a lower total content of this element and humus with hydrothermal mineralization conditions characteristic of the southern slopes unfavorable for microorganisms.

Thus, when fires of the same intensity are exposed to forest biogeocenoses with similar characteristics, the initial properties of the latter and the relief play a decisive role in quantitative post-pyrogenic changes in the agrochemical parameters of their soils.

Keywords: pine forests of mixed green grass, grass-roots runaway fires, sod-boron and gray humus soil, forest litter, agrochemical indicators.

ВВЕДЕНИЕ

Национальный парк «Шушенский бор», организованный в 1995 году, относится к наиболее значимой категории особо охраняемых природных территорий федерального значения. Он располагается на стыке лесостепной и таежной природно-климатических зон и включает уникальные природно-территориальные комплексы Западного Саяна и Минусинской котловины (ФГБУ «Национальный парк»).

Основной целью деятельности национального парка является сохранение и восстановление уникальных лесных экосистем юга Сибири. Однако, их высокая экологическая, историческая и эстетическая ценность также обусловили использование данной территории в природоохранных, просветительских, научных и культурных целях, для развития туризма и отдыха местного населения. Поэтому, даже несмотря на создание условий для организованного отдыха и контроль за его проведением, повышенная рекреационная нагрузка является одной из главных причин роста частоты пожаров и горимости территории национального парка (Каленская, 2006; Толмачев, 2011). Прежде всего, это касается наиболее посещаемой лесостепной части национального парка «Шушенский бор», относящейся к Перовскому участковому лесничеству.

Известно, что пожары оказывают воздействие на все компоненты лесных биogeоценозов, включая почву (Воздействие..., 2014; Воздействие..., 2022). При этом пирогенное влияние на последнюю, по мнению целого ряда авторов (Сапожников, 1976; Кулагина, 1982; Тарабукина, Саввинов, 1990; Попова, 1997; Мажитова, 2000; Чевычелов, 2002; Краснощеков, 2004; Пирогенная..., 2005; Цибарт, Геннадиев, 2008, 2009; Чевычелов, Шахматова, 2018), носит наиболее разносторонний и многообразный характер. Это приводит к определенной трансформации важнейших почвенных свойств и режимов, что, в свою очередь, соответствующим образом влияет на рост и развитие пройденных пожарами древостоев, а также протекающие в них лесовозобновительные процессы.

Несмотря на отмеченные в литературе общие закономерности, пирогенное воздействие на почвы может иметь и определенную специфику, обусловленную видом и интенсивностью пожара, рельефом, лесоводственными характеристиками насаждений и исходными свойствами самой почвы (Сапожников, 1976; Попова, 1982; Краснощеков, 2004; Воздействие..., 2014; Воздействие..., 2022). Исходя из этого, основная цель исследований заключалась в оценке характера и степени влияния низовых пожаров на агрохимические показатели двух типов почв, сформировавшихся в близких лесорастительных условиях на различных элементах мезорельефа.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Объекты исследования были представлены двумя парами пробных площадей, заложенных в наиболее распространенных в данной части национального парка чистых сосновых насаждениях зеленомошно-разнотравной группы. Каждая пара объектов включала контрольный, длительно (более 25 лет) не горевший участок, и гарь, пройденную беглым низовым пожаром. При этом первая пара пробных площадей была заложена в нижней части южного склона дюны крутизной около 15° и высотой до 20 м, а вторая – на верхнем пологом участке ее северного склона.

Несмотря на указанные различия орографических условий местопрорастания, древостои всех пробных площадей, по данным их таксационных описаний, характеризовались близкими средними показателями: возраст – 60–70 лет; высота и диаметр деревьев – соответственно 23 м и 28 см; класс бонитета – I; полнота – 1–1,2. Очень высокие значения последнего показателя определяют слабую освещенность подпологового пространства насаждений, что соответствующим образом отражается на составе и степени развития живого напочвенного покрова. Лесное разнотравье его верхнего яруса, в основном, приурочено к более освещенным микроучасткам, а его проективное покрытие варьирует от 10–20 до 80–90 %. В нижнем же ярусе ЖНП контрольных участков доминируют зеленые мхи, которые на гарях практически отсутствуют.

Согласно полученной в администрации парка информации, обе исследуемые гари в мае 2021 года были пройдены низовыми беглыми пожарами, сила которых оценивалась от средней до сильной. Основной же объем полевых исследований проводился летом 2022 г., т. е. спустя год после пожара, поскольку, согласно литературным данным (Стефин, 1981; Попова, 1982; Краснощеков, 2004; Влияние контролируемого..., 2005; Тарасов, Тарасова, 2020; Постпирогенная..., 2023), именно через такой срок постпирогенные изменения основных свойств почвы проявляются наиболее отчетливо.

Для изучения морфологии почв и их полевой диагностики в наиболее характерных местах всех пробных площадей в соответствии с общепринятыми методиками (Практикум..., 1980) были заложены почвенные разрезы и прикопки, анализ которых выявил относительно однородный характер почвенного покрова обеих пар пробных площадей. Далее приводится описание двух разрезов, наиболее полно характеризующих морфологические признаки исследуемых почв.

Разрез в нижней части южного склона дюны:

О – лесная подстилка мощностью 2–3 см бурого цвета, сухая, плотная, хорошо разложившаяся.

АУ – серогумусовый горизонт мощностью до 20 см, светло-серого цвета, сухой. Представлен мелкозерни-

стым бесструктурным песком рыхлого сложения. Содержит многочисленные включения мелких корней. Граница ровная, переход ясный.

ВТ 20–40 см – текстурный горизонт, свежий, светло-коричневой окраски, супесчаный, бесструктурный. Сложение уплотненное, в нижней части – плотное. Содержит включения мелких частиц угля. Граница неровная, переход ясный.

С 40–70 см и глубже, почвообразующая порода, серого цвета, свежая. Представлена плотным бесструктурным мелкозернистым песком эолового происхождения. Содержит единичные включения мелких корней, с HCl не реагирует.

Несмотря на известные трудности с классификацией песчаных почв (Борисова, 2005), в данном случае их можно диагностировать, как дерново-боровые мелкие песчаные на эоловом мелкозернистом песке (Гаель, Трушковский, 1962; Классификация..., 2004). Такие почвы весьма распространены в ленточных борах Сибири, формируются на эоловых отложениях и характеризуются низкой обеспеченностью элементами питания и (Почвенные факторы..., 1976).

Разрез в верхней пологой части северного склона:

О – лесная подстилка мощностью до 4 см. Состоит из двух четко разделяющихся слоев, примерно равной мощности. Верхний представлен неразложившимся опадом, в основном, состоящим из очеса мха, а нижний – полуразложившимися растительными остатками.

АУ 4–25 см – серогумусовый горизонт буровато-серого цвета, свежий, легкосуглинистый, с мелкокомковато-порошистой структурой, рыхлого сложения. Содержит единичные включения мелких корней. Граница ровная, переход резкий.

ВТ 25–65 см – текстурный горизонт неоднородной коричневой окраски, влажный, среднесуглинистый, с комковато-ореховатой структурой, уплотненный. Содержит включения мелких частиц угля. В нижней части слабо реагирует с HCl. Граница ровная, переход ясный.

С 65–85 см и глубже – почвообразующая порода элювиально-делювиального происхождения, свежая, палевого цвета, тяжелосуглинистая, с плохо выраженной структурой, плотная. Содержит новообразования карбонатов в виде белых пятен, бурно реагирует с HCl.

Исходя из морфологических признаков данной почвы, ее можно диагностировать, как серогумусовую средне мелкую средне выщелоченную легкосуглинистую на элювиально-делювиальном карбонатном тяжелом суглинке (Классификация..., 2004). В ранее действовавшей «Классификации и диагностике почв СССР» (1977) таким почвам частично соответствует выщелоченный подтип дерново-карбонатных почв.

Визуальное обследование обнаружило существенные различия основных характеристик лесной подстилки на пройденных пожарами и контрольных участках. Прежде всего, это касается мощности, заметно уменьшившейся в результате частичного сгорания подстилки, а также цвета ее поверхности, который после пожара стал заметно темнее.

С целью количественной оценки степени пирогенной трансформации основных характеристик подстилки

вскоре после пожара на десяти точках каждого объекта с помощью рамки-шаблона 20×20 см были взяты образцы и измерена мощность (Растворова, 1983). В лаборатории образцы подстилки высушивали при температуре 90–100 °С до абсолютно сухой массы и взвешивали. Делением массы образца на объем, рассчитываемый, как произведение площади рамки (400 см²) на мощность, вычисляли плотность подстилки (Растворова, 1983). Используя значения указанных характеристик подстилки, по формуле (1) находили ее запас:

$$M = 10000d_v h, \quad (1)$$

где M – запас подстилки, г/м²; d_v – плотность подстилки, г/см³; h – мощность подстилки, см.

Полученные результаты обрабатывали, используя стандартные программы «Статистика» и «Excel».

Кроме того, для проведения лабораторных агрохимических исследований в пяти точках каждой пробной площади из выделенных генетических горизонтов отбирались образцы почвы до глубины 40 см, до которой, согласно литературным данным (Краснощев, 2004; Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020; Постпирогенная..., 2023), влияние пожаров проявляется наиболее сильно.

Из отобранных индивидуальных образцов для каждого горизонта, включая подстилку, составлялись смешанные, что позволяло получить усредненные для каждого объекта результаты (Смолянинов и др., 1966). При этом агрохимические исследования данных образцов выполнялись в аккредитованной испытательной лаборатории ФГУ ГЦАС «Красноярский» по стандартным методикам.

Массу золы, образовавшейся в результате частичного пиролиза лесной подстилки, рассчитывали по следующей формуле:

$$Z = 0,01 \cdot (OB_1 - OB_2) \cdot (M_1 - M_2), \quad (2)$$

где Z – масса образовавшейся золы, г/м²; OB_1 и OB_2 – соответственно содержание органического вещества в подстилке контрольного и пройденного пожаром участка, %; M_1 и M_2 – соответственно запас подстилки на контрольном и пройденном пожаром участке, г/м².

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Определение основных характеристик подстилки подтвердили визуально установленные их пирогенные изменения, которые в обеих почвах выразились в заметном уменьшении ее мощности и запаса при увеличении плотности. При этом несмотря на то, что вследствие активной инсоляции южного склона расположенная здесь подстилка дерново-боровой почвы была более сухой, снижение ее мощности и запаса оказалось несколько меньше, чем у аналогичного горизонта серогумусовой почвы (1,44 см и 1015,5 г/м² против 1,87 см и 1131,4 г/м² – табл. 1). Вероятно, это связано с очень большой скоростью распространения огня вверх по склону, которая при крутизне 15° и более, по сравнению ровным участком, удваивается (Воронов, 2018).

Таблица 1

Основные характеристики лесной подстилки (числитель – пройденный пожаром участок, знаменатель – контрольный)

Характеристики	$\bar{X}$	$\pm m_x$	$\pm \sigma$	V, %	P, %	t_x	$t_{\Phi/p}$
Дерново-боровая песчаная почва							
Мощность, см	1,24	0,147	0,465	37,52	11,85	8,44	5,809
	2,68	0,261	0,825	27,68	8,76	11,42	< 0,01
Плотность, г/см ³	0,102	0,009 8	0,031 0	30,36	9,61	10,41	2,107
	0,076	0,007 5	0,023 7	31,17	9,86	10,13	≈ 0,05
Запас, г/м ²	1 260,0	140,55	444,15	35,25	11,16	8,96	3,595
	2 275,5	245,05	774,35	34,03	10,77	9,29	< 0,01
Серогумусовая легкосуглинистая почва							
Мощность, см	2,05	0,218	0,689	33,60	10,63	9,40	4,227
	3,92	0,385	1,216	31,02	9,82	10,18	< 0,01
Плотность, г/см ³	0,104	0,008 5	0,026 9	25,83	8,17	12,24	1,927
	0,080	0,009 1	0,028 8	36,00	11,38	8,79	≈ 0,05
Запас, г/м ²	2 006,0	212,28	670,81	33,44	10,58	9,45	2,906
	3 137,4	326,35	1 031,26	32,87	10,40	9,61	< 0,01

При этом, несмотря на почти двукратное сокращение мощности подстилки, уменьшение ее запаса в обеих почвах оказалось намного меньше. Главной причиной этого является существенное (в среднем, на треть) увеличение плотности подстилки обеих почв, которое объясняется следующим. Во-первых, верхние сгоревшие слои подстилки из-за слабой степени разложения составляющих их растительных остатков имели меньшую, в сравнении с сохранившимся нижним слоем, плотность (Попова, 1982; Аткин, Аткина, 1985; Постпирогенные..., 2011; Воздействие..., 2014; Influence of fire..., 2021). Во-вторых, это существенные изменения фракционного состава подстилки, а именно, появление в нем золы и, особенно, древесного угля, доля которого в первые два месяца после пожара (стадия «черной гари») может даже превышать 70 %. В этом случае Ю. Н. Краснощеков с соавторами (Краснощеков и др., 2007; Влияние..., 2007) даже говорят об образовании «поверхностного специфического пирогенного органогенного горизонта Org».

Следует отметить, что для всех приведенных характеристик лесной подстилки значения показателя t_x оказались больше 3 (табл. 1), что дает основание считать их статистически достоверными. Кроме того, судя по значениям критерия Стьюдента t_{Φ} , различия всех характеристик подстилки между сгоревшими и контрольными участками имеют уровень значимости, менее 5 % или близкий ему, что вполне достаточно для подобных исследований (Дмитриев, 1995).

Известно, что, в зависимости от интенсивности лесных пожаров, на поверхности развивается температура от 600 до 1000 °C, тогда как под подстилкой она лишь на короткое время может достигать 150–200 °C при высокой интенсивности горения и 45 °C – при низкой (Kutiel, Shaviv, 1989; Воздействие..., 2014). Обычно же температура минерального слоя почвы на глубине 5 см редко достигает 50 °C, как правило, возрастая лишь на несколько градусов, а в нижерасположенной толще практически не изменяется (Софронов, Вакуров, 1981; Воздействие..., 2022). Вследствие этого большинство пожаров, за исключением высокоин-

тенсивных устойчивых, не могут оказывать прямого влияния на содержание органического вещества в минеральных слоях почвы.

Несмотря на это, сравнительный анализ содержания органического вещества и его важнейших компонентов представляет определенный интерес во всех исследуемых почвенных горизонтах пройденных пожарами и контрольных участков.

Как видно из табл. 2, в результате частичного пиролиза подстилок обоих участков содержание органического вещества в них снизилось более, чем в полтора раза. В той же мере уменьшилось и характерное для пирогенного воздействия на подстилку содержание углерода, являющегося основным компонентом органического вещества (Попова, 1982; Тарабукина, Саввинов, 1990; Краснощеков и др., 2007; Воздействие..., 2014; Воздействие..., 2022; Постпирогенная..., 2023). Вместе с тем, несмотря на газообразную потерю азота, также входящего в состав органического вещества, общее содержание указанного элемента в подстилке после пожаров даже немного (на 5–6 %) возросло, что ранее отмечалось многими исследователями на свежих гаях (Попова, 1997; Азотный..., 2007; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020). 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 и лучшему прогреванию верхних горизонтов почвы (Сорокин, 1983; Богородская и др., 2005, 2011; Богородская, Сорокин, 2006; Воздействие..., 2014; Fritze, Pietikainen, 1993; Pietikainen, Fritze, 1995; Changes..., 2005). Вследствие этого, а, возможно, и за счет нисходящего передвижения водорастворимых соединений азота (Азотный..., 2007), его общее содержание несколько увеличилось не только в подстилке, но и в расположенном под ней серогумусовом горизонте обеих почв (табл. 2).

В то же время, содержание гумуса и его основного элемента углерода в минеральных горизонтах, напро-

тив, несколько уменьшилось. Наиболее заметно это проявилось в серогумусовом горизонте АУ обеих почв, где данный показатель снизился в среднем на 0,05–0,1 %. Одной из вероятных причин этого может быть усиление минерализации гумуса микроорганизмами, обусловленное указанными выше факторами (Сорокин, 1983; Богородская и др., 2005, 2011; Богородская, Сорокин, 2006), вследствие чего, он, судя по сокращению отношения С:N, обогащается азотом (Мякина, Аринушкина, 1979).

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 (Арефьева, 1963; Арефьева, Колесников, 1964; Попова, 1982). В результате этого послепожарное содержание аммонийного азота возросло в обеих исследуемых почвах, причем в дерново-боровой – в меньшей степени (табл. 3). Вероятно, с одной стороны, это связано с ее более низкой гумусированностью, а с другой – неблагоприятными для микроорганизмов гидротермическим условиями, обу-

словленными расположением данной почвы на южном склоне.

Как уже отмечалось, одним из факторов активизации микроорганизмов в почвах пройденных пожарами участков многие исследователи считают положительные постпирогенные изменения физико-химических характеристик (Тарабукина, Саввинов, 1990; Краснощек, 2004; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020; Воздействие..., 2022; Постпирогенная..., 2023). 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 много оснований (прежде всего, калия, кальция и магния) 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 (Стефин, 1981; Краснощек, 2004; Пирогенная..., 2005; Азотный..., 2007; Лукина и др., 2008; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020; Воздействие..., 2022; Постпирогенная..., 2023).

Таблица 2
Агрохимические показатели исследуемых почв

Горизонт, глубина, см	рН водный	Гидролитическая кислотность	Сумма поглощенных оснований	Степень насыщенности основаниями, %	Гумус, %	С, %	Азот общий, %	С: N	N-NH ₄ , мг/кг	Подвижные, мг/кг	
		м-экв. на 100 г почвы								P ₂ O ₅	K ₂ O
Дерново-боровая песчаная почва в нижней части южного склона дюны											
Участок, пройденный пожаром											
О, 0–1	6,85	3,16	149,15	97,9	51,75*	25,88	1,356	19,0	206,0	255,0	337,0
АУ, 1–10	6,78	0,47	7,10	93,8	0,85	0,49	0,036	13,6	9,5	29,3	35,0
АУ, 10–20	6,70	0,83	6,65	88,9	0,79	0,40	0,034	11,8	10,0	28,5	33,1
ВТ, 20–40	6,57	1,03	6,90	87,0	0,31	0,17	0,015	11,3	6,5	19,5	16,0
Контрольный участок											
О, 0–3	5,62	5,82	57,33	90,8	76,48*	38,24	1,275	30,0	172,0	180,0	135,0
АУ, 3–10	6,19	0,78	5,02	86,6	0,90	0,52	0,031	16,8	8,0	18,9	13,4
АУ, 10–20	6,22	0,95	6,11	86,5	0,86	0,49	0,029	16,9	7,5	18,2	13,2
ВТ, 20–40	6,43	1,12	5,87	84,0	0,32	0,19	0,016	11,9	6,3	17,3	12,1
Серогумусовая легкосуглинистая почва в верхней пологой части северного склона дюны											
Участок, пройденный пожаром											
О, 0–2	6,97	1,12	212,08	99,1	49,16*	24,58	1,372	17,9	310,0	439,0	510,0
АУ, 2–10	6,75	1,07	18,00	94,4	3,18	1,84	0,072	25,6	19,5	57,8	74,6
АУ, 10–25	6,90	0,47	13,95	96,7	1,65	0,96	0,047	20,4	14,5	52,0	71,0
ВТ, 25–40	6,95	0,67	12,24	94,8	0,56	0,32	0,024	13,3	11,8	35,2	57,3
Контрольный участок											
О, 0–4	5,83	5,06	96,39	95,0	77,63*	38,82	1,311	29,6	193,0	254,0	147,0
АУ, 4–12	6,27	2,11	14,81	87,5	3,32	1,93	0,066	29,2	15,0	39,3	34,1
АУ, 12–25	6,75	1,40	10,63	88,4	1,70	0,98	0,043	22,8	12,0	34,5	33,5
ВТ, 25–40	6,90	0,72	7,92	91,7	0,55	0,32	0,023	13,9	11,5	27,0	38,1

* – органическое вещество.

Известно, что количественные изменения указанных показателей во многом определяются массой золы, образовавшейся в результате частичного пиролиза подстилки (Попова, 1982; Краснощек, 2004; Воздействие..., 2022; Постпирогенная..., 2023). Расчёты, для проведения которых использовались данные табл. 1 и 2 и формулу (2), показали заметно меньшую массу золы на участке с дерново-боровой почвой ($251,1 \text{ г/м}^2$ против $322,1 \text{ г/м}^2$ – у серогумусовой). Столь существенные различия объясняются менее активным пиролизом ее подстилки, обусловленные отмеченным быстрым прохождением огня вверх по склону (Воронцов, 2018). Вследствие этого масса сгоревшей подстилки здесь составила $1\,015,5 \text{ г/м}^2$, тогда как на пологом участке с серогумусовой почвой – $1\,131,4 \text{ г/м}^2$ (табл. 1).

Данные табл. 2 в полной мере отражают описанные выше изменения физико-химических показателей почвы, заметнее проявляющиеся в подстилке, в которую поступает основная часть золы. Так, в обеих почвах послепожарные значения pH водного подстилки, возросли, по сравнению с контрольными, более, чем на единицу (соответственно, с 5,62 и 5,83 до 6,85 и 6,97 – табл. 2), что указывает на переход реакции почвенного раствора в нейтральный диапазон. Также очень сильно уменьшилась и гидролитическая кислотность подстилки, особенно, в серогумусовой почве (с 5,06 до 1,12 м-экв./100 г), что, вероятно, связано с большей массой образовавшейся здесь золы.

Исходя из природы гидролитической кислотности, этим же объясняется и более существенное снижение гидролитической кислотности в подстилке серогумусовой почвы, обусловленное уменьшением содержания в коллоидном комплексе (ППК) ионов H^+ в результате их замещения поступающими из золы основными катионами (Мякина, Аринушкина, 1979; Лукина и др., 2008). Вследствие этого, в подстилке возросло суммарное содержание поглощенных оснований и степень насыщенности ими, причем также более значительно – у серогумусовой почвы (табл. 2).

Аналогичные изменения физико-химических показателей наблюдаются и в расположенном под подстилкой серогумусовом горизонте АУ. При этом в количественном отношении данные изменения в исследуемых почвах несколько отличаются. Так, если в указанном горизонте дерново-боровой почвы больше возросли значения pH водного (на 0,59–0,48), то в серогумусовой – существенно снизилась гидролитическая кислотность (на 1,04–0,53 м-экв./100 г), а также увеличилась сумма поглощенных оснований (более, чем на 3 м-экв./100 г) и степень насыщенности ими (почти на 7–6 %).

Учитывая расположение дерново-боровой песчаной почвы в нижней части склона, большее увеличение pH водного, характеризующего реакцию почвенного раствора, здесь может быть связано с влиянием внутрипочвенного стока, приносящим сюда растворенные основания с находящихся выше участков. Более значительное же изменение других физико-химических показателей в легкосуглинистом горизонте АУ серогумусовой почвы, вероятно, обусловлено большим содержанием в нем коллоидных частиц,

в диффузном слое которых ионы H^+ , определяющие гидролитическую кислотность, активно замещаются основными катионами (Мякина, Аринушкина, 1979).

Что касается текстурного горизонта ВТ обеих почв, то в нем изменения всех физико-химических показателей выражены намного слабее (табл. 2). Главным образом, это объясняется его более глубоким расположением, обуславливающим меньшее поступление растворенных оснований (Стефин, 1981; Попова, 1982; Краснощек, 2004; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020; Постпирогенная..., 2023).

Известно, что наряду с последними, в золе содержатся доступные растениям соединения фосфора и калия, поступление которых в почву положительно влияет на ее питательный режим (Арефьева, 1963; Арефьева, Колесников, 1964; Попова, 1982; Стефин, 1981; Кулагина, 1982; Пирогенная..., 2005; Азотный..., 2007; Краснощек и др., 2007; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020; Воздействие..., 2022; Постпирогенная..., 2023).

Результаты агрохимических анализов показали наибольшее увеличение содержания указанных соединений в лесной подстилке, что объясняется ее спецификой (Карпачевский, 1981, 1983; Богатырев, 1996), определяющей непосредственное термическое воздействие и поступление основной массы золы. Вследствие меньшего ее количества, образовавшегося на участке дерново-боровой почвы, а также смыва части золы поверхностным стоком, содержание подвижных форм фосфора и калия в ее подстилке возросло менее существенно (соответственно со 180 и 135 мг/кг до 255 и 337 мг/кг), чем в аналогичном горизонте серогумусовой (с 254 и 147 мг/кг до 439 и 510 мг/кг). При этом в обеих почвах отмечается заметно большее, по сравнению с фосфором, относительное увеличение калия (42 и 73 % против 68 и 247 %), что обусловлено гораздо большей концентрацией последнего в золе (Шешуков и др., 1992; Краснощек и др., 2007).

Наряду с подстилкой, в расположенном под ней серогумусовом горизонте АУ содержание подвижных форм фосфора и, особенно, калия также сильно возросло. В наибольшей мере это проявилось в серогумусовой почве, где последний показатель увеличился более, чем вдвое (с 34,1–33,5 до 74,6–71,0 мг/кг – табл. 2). Увеличение же содержания подвижного фосфора в горизонте АУ обеих почв оказалось менее существенным. При этом в большей мере это также проявилось в серогумусовой почве, где содержание подвижного фосфора возросло примерно на 50 % (с 39,3–34,5 до 57,8–52,0 мг/кг).

Однако, и в аналогичном горизонте дерново-боровой увеличение рассматриваемых показателей оказалось довольно существенным, что, вероятно, связано с отмеченным выше влиянием внутрипочвенного стока. Так, содержание подвижного калия здесь возросло с 13,4–13,2 до 35,0–33,1 мг/кг, а фосфора – с 18,9–18,2 до 29,3–28,5 мг/кг (табл. 2).

В расположенном же глубже 20–25 см текстурном горизонте ВТ обеих почв послепожарные изменения содержания подвижных форм фосфора и калия, как и рассмотренных ранее показателей, проявились

в меньшей степени. Вместе с тем, содержание подвижного калия в данном горизонте, особенно, серогумусовой почвы, также возросло более значительно. Здесь через год после пожара его концентрация увеличилась в полтора раза (с 38,1 до 57,3 мг/кг), тогда как подвижного фосфора – лишь примерно на треть (с 27,0 до 35,2 мг/кг). В текстурном же горизонте дерново-боровой почвы данные показатели возросли соответственно на 32 % (с 12,1 до 16,0 мг/кг) и 20 % (с 16,3 до 19,5 %) (табл. 2).

Таким образом, с увеличением глубины минерального слоя почвы наблюдается заметное ослабление постпирогенных изменений всех важнейших агрохимических показателей, что сопоставимо с данными других авторов, проводивших аналогичные исследования в сосновых лесах Сибири (Стефин, 1981; Попова, 1982; Краснощеков, 2004; Воздействие..., 2014; Тарасов, Тарасова, 2020; Постпирогенная..., 2023).

ВЫВОДЫ

Результаты исследований дерново-боровой и серогумусовой почв, сформировавшихся на различных элементах мезорельефа, но в близких по лесоводственным показателям насаждениях, пройденных одинаковыми по силе низовыми беглыми пожарами, показали следующее.

Постпирогенные изменения основных характеристик подстилки и агрохимических показателей исследуемых почвенных горизонтов, в целом, имеют общий тренд. Вместе с тем, степень этих изменений определяется такими факторами, как рельеф и исходные свойства почвы.

Так, из-за очень большой скорости распространения огня, обусловленной расположением дерново-боровой почвы на крутом южном склоне, ее подстилка в меньшей мере подверглась пиролизу. Вследствие этого сокращение мощности и запаса подстилки здесь проявилось несколько слабее, что, в свою очередь, определило и меньшую массу образовавшейся золы. При этом, исходя из известного влияния последней на ряд важнейших агрохимических характеристик (физико-химические показатели, содержание подвижных фосфора и калия), послепожарные изменения большинства из них в меньшей мере проявились в дерново-боровой почве. Кроме того, в немаловажной мере это связано и с активным влиянием поверхностного и внутрипочвенного стока, обусловленным расположением данной почвы на склоне и высокой водопроницаемостью, в связи с ее песчаным гранулометрическим составом.

Более значительные изменения большинства физико-химических показателей (гидролитической кислотности, суммы поглощенных оснований и степени насыщенности ими), отмеченные в минеральных слоях серогумусовой почвы, вероятно, обусловлены ее большей, благодаря относительно более тяжелому гранулометрическому составу, емкостью поглощения.

Фактором же, определившим заметно меньшее постпирогенное увеличение аммонийного азота в дерново-боровой почве, является сочетание более низкого общего содержания данного элемента и гумуса с характерными для южных склонов неблагоприят-

ными для микроорганизмов гидротермическим условиями их минерализации.

Таким образом, при воздействии одинаковых по силе пожаров на близкие по своим характеристикам лесные биогеоценозы, определяющую роль в количественных постпирогенных изменениях агрохимических показателей их почв играют исходные свойства последних и рельеф.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. 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.
2. 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.
3. 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.
4. Аткин А. С., Аткина Л. И. Запасы напочвенных горючих материалов в сосняках // Лесные пожары и их последствия. Красноярск : Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР. 1985. С. 92–101.
5. Богатырев Л. Г. Образование подстилок – один из важнейших процессов в лесных экосистемах // Почвоведение. 1996. № 4. С. 501–511.
6. Богородская А. В., Иванова Г. И., Соркин Н. Д. Влияние пирогенного фактора на микробные комплексы почв сосняков Средней Сибири // Лесоведение. 2005. № 2. С. 25–31.
7. Богородская А. В., Соркин Н. Д. Микробиологическая диагностика состояния пирогенно-измененных почв сосняков Нижнего Приангарья // Почвоведение, 2006. № 10. С. 1258–1266.
8. Богородская А. В., Иванова Г. И., Тарасов П. А. Послепожарная трансформация микробных комплексов почв лиственничников Нижнего Приангарья // Почвоведение. 2011, № 1. С. 56–63.
9. Борисова И. В. Почвообразование на песчаных отложениях в долине среднего Енисея : автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Барнаул: Алтайский гос. ун-т, 2005. 24 с.
10. Влияние контролируемого выжигания шелкопряда 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.
11. 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.
12. Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков / Г. А. Иванова, С. Г. Конард, Д. Д. Макрае [и др.]. Новосибирск : Наука, 2014. 232 с.
13. Воздействие пожаров на светлохвойные леса Нижнего Приангарья / Г. А. Иванова, Е. А. Кукавская, И. Н. Безкоровайная [и др.]. Новосибирск : Наука, 2022. 204 с.

14. Воронов М. А. Рекомендации по профилактике и тушению природных пожаров для гражданского общества. Пушкино : Литературная Республика, 2018. 17 с.
15. Гаель А. Г., Трушковский А. А. Возраст и классификация почв на эоловых песках степной зоны // Известия АН СССР. Серия география. 1962. № 4. С. 28–42.
16. Дмитриев Е. А. Математическая статистика в почвоведении. М. : МГУ, 1995. 320 с.
17. Каленская О. П. Влияние низовых пожаров на состояние сосновых насаждений в равнинной части национального парка «Шушенский бор» : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск : СибГТУ, 2006. 18 с.
18. Карпачевский Л. О. Лес и лесные почвы. М. : Лесная промышленность, 1981. 264 с.
19. Карпачевский Л. О. Подстилка – особый биогеогоризонт лесного биогеоценоза // Роль подстилки в лесных биогеоценозах. М. : Изд-во АН СССР, 1983. С. 88–89.
20. Классификация и диагностика почв России / сост. Л. Л. Шишов, В. Д. Тонконогов, И. И. Лебедев [и др.]. Смоленск : Ойкумена, 2004. 342 с.
21. Классификация и диагностика почв СССР / сост. В. В. Егоров, В. М. Фридланд, Е. Н. Иванова [и др.]. М. : Колос, 1977. 224 с.
22. Краснощеков Ю. Н. Почвозащитная роль горных лесов бассейна озера Байкал. Новосибирск : Изд-во СО РАН, 2004. 224 с.
23. Краснощеков Ю. Н., Безкоровайная И. Н., Кузьмиченко В. В. Трансформация свойств лесной подстилки при контролируемом выжигании шелкопряда в Нижнем Приангарье // Почвоведение. 2007. № 2. С. 170–178.
24. Кулагина М. А. Влияние низового пожара на биогенную миграцию элементов питания в сосняке багульниково-брусничном // Эколого-фитоценологические особенности лесов Сибири. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1982. С. 24–37.
25. Лукина Н. В., Полянская Л. М., Орлова М. А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М. : Наука, 2008. 342 с.
26. Мажитова Г. Г. Пирогенная динамика мерзлотных почв Колымского нагорья // Почвоведение. 2000. № 5. С. 619–629.
27. Мякина Н. Б., Аринушкина Е. В. Методическое пособие для чтения результатов химических анализов почв. М.: Изд-во МГУ, 1979. 62 с.
28. 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.
29. Попова Э. П. Азот в лесных почвах. Новосибирск: Наука, 1983. 163 с.
30. Попова Э. П. Влияние пожаров на эдафические факторы продуктивности сосновых лесов // Почвенно-экологические исследования в лесных биогеоценозах. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1982. С. 119–138.
31. Попова Э. П. Пирогенная трансформация свойств лесных почв Среднего Приангарья // Сибирский экологический журнал, 1997. № 4. С. 413–418.
32. Постпирогенная динамика агрохимических показателей песчаных подзолов в сосняках южной тайги / П. А. Тарасов, В. А. Иванов, Г. А. Иванова [и др.] // Хвойные бореальной зоны. 2023. Т. XLI, № 2. С. 161–174.
33. Постпирогенные изменения гидротермических параметров почв среднетаежных сосняков / П. А. Тарасов, В. А. Иванов, Г. А. Иванова [и др.] // Почвоведение. 2011. № 7. С. 795–803.
34. Почвенные факторы продуктивности сосняков / Н. В. Орловский, С. А. Коляго, Э. Е. Боболева [и др.]. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1976. 237 с.
35. Практикум по почвоведению / И. С. Кауричев, Н. П. Панов, М. В. Странович [и др.] ; под ред. И. С. Кауричева. М. : Колос, 1980. 272 с.
36. Растворова О.Г. Физика почв (практическое руководство). Л. : ЛГУ, 1983. 196 с.
37. Сапожников А. П. Роль огня в формировании лесных почв // Экология. 1976. № 1. С. 42–46.
38. Смольянинов И. И., Мигунова Е. С., Гладкий А. С. Почвенная лаборатория лесхоза. М. : Лесн. пром-сть, 1966. – 144 с.
39. Сорокин Н.Д. Влияние лесных пожаров на биологическую активность почв // Лесоведение. 1983. № 4. С. 24–28.
40. Софронов М. А., Вакуров А. Д. Огонь в лесу. Новосибирск : Наука, 1981. 124 с.
41. Стефин В. В. Антропогенные воздействия на горно-лесные почвы. Новосибирск : Наука, Сиб. отд-ние, 1981. 169 с.
42. Тарабукина В. Г., Саввинов Д. Д. Влияние пожаров на мерзлотные почвы. Новосибирск : Наука, 1990. 120 с.
43. Тарасов П. А., Тарасова А. В. Исследование постпирогенной динамики агрохимических показателей подзолистей почвы // Хвойные бореальной зоны. 2020. № 5. С. 277–285.
44. Толмачев А. В. Лесовозобновление в хвойных насаждениях и на горячих горной части национального парка «Шушенский бор» : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Красноярск : СибГТУ. 2011. 19 с.
45. Цибарт А. С., Геннадиев А. Н. Влияние пожаров на свойства лесных почв Приамурья (Норский заповедник) // Почвоведение. 2008. № 7. С. 783–792.
46. 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.
47. Чевычелов А. П. Пирогенез и постпирогенные трансформации свойств и состава мерзлотных почв // Сибирский экологический журнал. 2002. № 3. С. 273–277.
48. Чевычелов А. П., Шахматова Е. Ю. Постпирогенные полициклические почвы в лесах Якутии и Забайкалья // Почвоведение. 2018. № 2. С. 243–252.
49. Шешуков М. А., Савченко А. П., Пешков В. В. Лесные пожары и борьба с ними на севере Дальнего Востока. Хабаровск : ДальНИИЛХ, 1992. 95 с.
50. Changes in nitrogen-fixing and ammonia oxidizing bacterial communities in soil / C. M. Yeager, D. E. Northup, C. C. Grow [et al.] // Appl. environ. microbiol. 2005. V. 71. P. 2713–2722.

51. Fritze H., Pietikainen J. Recovery of soil microbial biomass and activity from prescribed burning // *Can. J. Forest Research*. 1993. V. 23. P. 1286–1290.
 52. Influence of fire on the soil temperatures in pine forests of the middle taiga (Central Siberia, Russia) / I. N. Bezkorovajnaya, P. A. Tarasov, I. G. Gette [et al.] // *Journal of Forestry Research*. 2021. 32 (3). P. 1139–1145.
 53. Kutiel P., Shaviv A. 1989 Effects of simulated forest fire on the availability of N and in Mediterranean soils // *Plant and soil*. 1989. № 1. P. 57–63.
 54. Pietikainen J., Fritze H. Clearcutting and prescribed burning in coniferous forest: comparison of effects on soil fungal and total microbial biomass, respiration activity and nitrification // *Soil biol. and biochem.* 1995. V. 27. P. 101–109.
 55. ФГБУ «Национальный парк «Шушенский бор». URL : <http://www.old.shushbor.ru/index.php?id=32>.
- ### REFERENCES
1. Azotnyj fond peschanyh podzolov posle kontroli-ruemyh vyzhiganij sosnyakov Srednej Sibiri / I. N. Bezkorovajnaya, P. A. Tarasov, G. A. Ivanova [i dr.] // *Pochvovedenie*. 2007. № 6. S. 775–783.
 2. Arefeva Z. N. Vliyanie ognja na nekotorye biohimicheskie processy v lesnyh pochvah // *Trudy In-ta biologii UF AN SSSR*. Ufa : In-t biologii UF AN SSSR. 1963. Vyp. 36. S. 39–55.
 3. Arefeva Z. N., Kolesnikov B. P. Dinamika ammiachnogo i nitratnogo azota v lesnyh pochvah Zaural'ja pri vysokih i nizkih temperaturah // *Pochvovedenie*. 1964. № 3, S. 30–43.
 4. Atkin A. S., Atkina L. I. Zapasy napochvennyh goryuchih materialov v sosnyakah // *Lesnye pozhary i ih posledstviya*. Krasnoyarsk : In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR. 1985. S. 92–101.
 5. Bogatyrev L. G. Obrazovanie podstilk – odin iz vazhnejshih processov v lesnyh ekosistemah // *Pochvovedenie*. 1996. № 4. S. 501–511.
 6. Bogorodskaya A. V., Ivanova G. I., Sorkin N. D. Vliyanie pirogenno go faktora na mikrobnye komplekсы pochv sosnyakov Srednej Sibiri // *Lesovedenie*. – 2005. – № 2. – S. 25–31.
 7. Bogorodskaya A. V., Sorkin N. D. Mikrobiologicheskaya diagnostika sostoyaniya pirogenno-izmenennyh pochv sosnyakov Nizhnego Priangar'ya // *Pochvovedenie*, 2006. № 10. S. 1258–1266.
 8. Bogorodskaya A. V., Ivanova G. I., Tarasov P. A. Poslepzharnaya transformaciya mikrobnih kompleksov pochv listvennichnikov Nizhnego Priangar'ya // *Pochvovedenie*. 2011, № 1. S. 56–63.
 9. Borisova I. V. Pochvoobrazovanie na peschanyh otlozheniyah v doline srednego Eniseya : avtoref. dis. ... kand. geogr. nauk. Barnaul : Altajskij gos. un-t, 2005. 24 s.
 10. Vliyanie kontroliruемого vyzhiganiya shelkopryadnikov na svoystva dernovo-podzolistyh pochv v Nizhnem Priangar'e / Yu. N. Krasnoshchekov, E. N. Valendik, I. N. Bezkorovajnaya [i dr.] // *Lesovedenie*. 2005. № 5. S. 16–24.
 11. Vliyanie pozharov na emissii ugleroda v sosnyovyh lesah Srednej Sibiri / G. A. Ivanova, V. A. Ivanov, E. A. Kukavskaya [i dr.] // *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2007. № 6. S. 885–895.
 12. Vozdejstvie pozharov na komponenty ekosistemy srednetaezhnyh sosnyakov / G. A. Ivanova, S. G. Konard, D. D. Makrae [i dr.]. Novosibirsk : Nauka, 2014. 232 s.
 13. Vozdejstvie pozharov na svetlohvojnye lesa Nizhnego Priangar'ya / G. A. Ivanova, E. A. Kukavskaya, I. N. Bezkorovajnaya [i dr.]. Novosibirsk : Nauka, 2022. 204 s.
 14. Voronov M. A. Rekomendacii po profilaktike i tusheniyu prirodnyh pozharov dlya grazhdanskogo obshchestva. Pushkino : Literaturnaya Respublika, 2018. 17 s.
 15. Gael' A. G., Trushkovskij A. A. Vozrast i klassifikaciya pochv na eolovyh peskah stepnoj zony // *Izvestiya AN SSSR. Seriya geografiya*. 1962. № 4. S. 28–42 s.
 16. Dmitriev E. A. Matematicheskaya statistika v pochvovedenii. M. : MGU, 1995. 320 s.
 17. Kalenskaya O. P. Vliyanie nizovyh pozharov na sostoyanie osnovnyh nasazhdenij v ravninnoj chasti nacional'nogo parka “Shushenskij bor” : avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk. Krasnoyarsk : SibGTU, 2006. 18 s.
 18. Karpachevskij L. O. Les i lesnye pochvy. M. : Lesnaya promyshlennost', 1981. 264 s.
 19. Karpachevskij L. O. Podstilka – osobyj biogeogorizont lesnogo biogeocenoza // *Rol' podstilki v lesnyh biogeocenozah*. M. : Izd-vo AN SSSR, 1983. S. 88–89.
 20. Klassifikaciya i diagnostika pochv Rossii / sost. L. L. Shishov, V. D. Tonkonogov, I. I. Lebedev [i dr.]. Smolensk : Ojkumena, 2004. 342 s.
 21. Klassifikaciya i diagnostika pochv SSSR / sost. V. V. Egorov, V. M. Fridland, E. N. Ivanova [i dr.]. M. : Kolos, 1977. 224 s.
 22. Krasnoshchekov Yu. N. Pochvozashchitnaya rol' gornyh lesov bassejna ozera Bajkal. Novosibirsk : Izd-vo SO RAN, 2004. 224 s.
 23. Krasnoshchekov Yu. N., Bezkorovajnaya I. N., Kuz'michenko V. V. Transformaciya svoystv lesnoj podstilki pri kontroliruемом vyzhiganii shelkopryadnikov v Nizhnem Priangar'e // *Pochvovedenie*. 2007. № 2. S. 170–178.
 24. Kulagina M. A. Vliyanie nizovogo pozhara na biogennuyu migraciju elementov pitaniya v sosnyake bagul'nikovo-brusnichnom // *Ekologo-fitocenoticheskie osobennosti lesov Sibiri*. Krasnoyarsk: In-t lesa i drevesiny im. V. N. Sukacheva SO AN SSSR, 1982. S. 24–37.
 25. Lukina N. V., Polyanskaya L. M., Orlova M. A. Pitatel'nyj rezhim pochv severotaezhnyh lesov. M. : Nauka, 2008. 342 s.
 26. Mazhitova G. G. Pirogennaya dinamika merzlotnyh pochv Kolymского nago r'ya // *Pochvovedenie*. 2000. № 5. S. 619–629.
 27. Myakina N. B., Arinushkina E. V. Metodicheskoe posobie dlya chteniya rezul'tatov himicheskikh analizov pochv. M. : Izd-vo MGU, 1979. 62 s.
 28. Pirogennaya transformaciya pochv sosnyakov srednej tajgi Krasnoyarskogo kraya / I. N. Bezkorovajnaya, P. A. Tarasov, G. A. Ivanova [i dr.] // *Sibirskij ekologicheskij zhurnal*. 2005. № 1. S. 143–152.

29. Popova E. P. Azot v lesnyh pochvah. Novosibirsk: Nauka, 1983. 163 s.
30. Popova E. P. Vliyanie pozharov na edaficheskie faktory produktivnosti osnovnykh lesov // Pochvenno-ekologicheskie issledovaniya v lesnykh biogeotsenozakh. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd-nie, 1982. S. 119–138.
31. Popova E. P. Pirogennaya transformatsiya svoystv lesnykh pochv Srednego Priangar'ya // Sibirskij ekologicheskij zhurnal, 1997. № 4. S. 413–418.
32. Postpirogennaya dinamika agrokhimicheskikh pokazatelej peschanykh podzolov v sosnyakh yuzhnoj tajgi / P. A. Tarasov, V. A. Ivanov, G. A. Ivanova [i dr.] // Hvojnye boreal'noj zony. 2023. T. XLI, № 2. S. 161–174.
33. Postpirogennye izmeneniya gidrotermicheskikh parametrov pochv srednetazhnykh sosnyakov / P. A. Tarasov, V. A. Ivanov, G. A. Ivanova i [i dr.] // Pochvovedenie. 2011. № 7. S. 795–803.
34. Pochvennye faktory produktivnosti sosnyakov / N. V. Orlovskij, S. A. Kolyago, E. E. Boboleva [i dr.]. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd-nie, 1976. 237 s.
35. Praktikum po pochvovedeniyu / I. S. Kaurichev, N. P. Panov, M. V. Stranovich [i dr.]. Pod red. I. S. Kauricheva. M. : Kolos, 1980. 272 s.
36. Rastvorova O. G. Fizika pochv (prakticheskoe rukovodstvo). L. : LGU, 1983. 196 s.
37. Sapozhnikov A. P. Rol' ognia v formirovanii lesnykh pochv // Ekologiya. 1976. № 1. S. 42–46.
38. Smol'yaninov I. I., Migunova E. S., Gladkij A. S. Pochvennaya laboratoriya leskhoza. M. : Lesn. prom-st', 1966. 144 s.
39. Sorokin N. D. Vliyanie lesnykh pozharov na biologicheskuyu aktivnost' pochv // Lesovedenie. 1983. № 4. C. 24–28.
40. Sofronov M. A., Vakurov A. D. Ogon' v lesu. Novosibirsk : Nauka, 1981. 124 s.
41. Stefin V. V. Antropogennye vozdejstviya na gorno-lesnye pochvy. Novosibirsk : Nauka, Sib. otd-nie, 1981. 169 s.
42. Tarabukina V. G., Savvinov D. D. Vliyanie pozharov na merzlotnye pochvy. Novosibirsk : Nauka, 1990. 120 s.
43. Tarasov P. A., Tarasova A. V. Issledovanie postpirogennoj dinamiki agrokhimicheskikh pokazatelej podzolistoj pochvy // Hvojnye boreal'noj zony. 2020. № 5. S. 277–285.
44. Tolmachev A. V. Lesovozobnovlenie v hvojnykh nasazhdeniyah i na garyah gornoj chasti nacional'nogo parka "Shushenskij bor" : avtoref. dis. ... kand. s.-h. nauk. Krasnoyarsk : SibGTU. 2011. 19 s.
45. Cibart A. S., Gennadiev A. N. Vliyanie pozharov na svoystva lesnykh pochv Priamur'ya (Norskij zapovednik) // Pochvovedenie. 2008. № 7. S. 783–792.
46. Cibart A. S., Gennadiev A. N. Napravlenost' izmeneniya lesnykh pochv Priamur'ya pod vozdejstviem pirogennogo faktora // Vestnik Moskovskogo universiteta. Seriya 5. Geografiya. 2009. № 3. S. 66–74.
47. Chevychelov A. P. Pirogenez i postpirogennye transformatsii svoystv i sostava merzlotnykh pochv // Sibirskij ekologicheskij zhurnal. 2002. № 3. S. 273–277.
48. Chevychelov A. P., Shahmatova E. Yu. Postpirogennye politsiklicheskie pochvy v lesakh Yakutii i Zabajkal'ya // Pochvovedenie. 2018. № 2. S. 243–252.
49. Sheshukov M. A., Savchenko A. P., Peshkov V. V. Lesnye pozhary i bor'ba s nimi na severe Dal'nego Vostoka. Habarovsk : Dal'NIILH, 1992. 95 s.
50. Changes in nitrogen-fixing and ammonia oxidizing bacterial communities in soil / C. M. Yeager, D. E. Northup, C. C. Grow [et all.] // Appl. environ. microbiol. 2005. V. 71. P. 2713–2722.
51. Fritze H., Pietikainen J. Recovery of soil microbial biomass and activity from prescribed burning // Can. J. Forest Research. 1993. V. 23. P. 1286–1290.
52. 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 all.] // Journal of Forestry Research. 2021. 32 (3). R. 1139–1145.
53. Kutiel P., Shaviv A. 1989 Effects of simulated forest fire on the availability of N and P in Mediterranean soils // Plant and soil. 1989. № 1. R. 57–63.
54. Pietikainen J., Fritze H. Clearcutting and prescribed burning in coniferous forest: comparison of effects on soil fungal and total microbial biomass, respiration activity and nitrification // Soil biol. and biochem. 1995. Vol. 27. P. 101–109.
55. FGBU "Nacional'nyj park "Shushenskij bor". URL: <http://www.old.shushbor.ru/index.php?id=32>.

© Тарасов П. А., Тарасова А. В., 2024

Поступила в редакцию 10.06.2023
Принята к печати 03.06.2024