

Научная статья
УДК 630*161(551.509.68)
DOI: 10.37482/0536-1036-2025-1-98-114

Послепожарные изменения в светлохвойных лесах Башкирского заповедника

И.К. Гайсин, вед. науч. сотр.; ResearcherID: [LQK-8865-2024](https://orcid.org/0009-0009-4591-3827),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4591-3827>

Башкирский государственный природный заповедник, ул. Карат, д. 2, с. Старосубхангулово, Республика Башкортостан, Россия, 453580; i.gaisin2012@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.06.23 / Одобрена после рецензирования 18.09.23 / Принята к печати 23.09.23

Аннотация. Оценка воздействия пожаров на лесные насаждения для получения информации о постпирогенном развитии компонентов леса в динамике становится все более актуальной в связи с возрастанием количества возгораний лесов и пройденной огнем лесной площади. Цель исследования – сбор фактических данных о процессах деструкции и начальной стадии восстановления компонентов леса в Башкирском заповеднике после крупного пожара 2020 г. в массиве Авдэктэ. Выполнен анализ послепожарных изменений светлохвойных насаждений на территории заповедника после низового пожара. Для участков, пройденных огнем различной интенсивности, приводятся данные по изменению показателей древостоев через 1 и 2 года после пожара, в т. ч. описана динамика подроста, подлеска, живого напочвенного покрова, лесной подстилки. Выявлена зависимость доли погибших деревьев от диаметра ствола, запаса образовавшейся захламленности и сухостоя. Наиболее сильно пострадали молодняк с диаметром ствола менее 16 см и старовозрастные деревья, имеющие пожарные подсушины или другие повреждения. Как самые сохранившиеся характеризуются средневозрастные деревья, которые обладают высоким потенциалом восстановления после ослабления под воздействием неблагоприятных факторов. По мультиспектральным снимкам Sentinel-2 проведена оценка повреждения древостоев через 1 и 2 года после пожара, выделены покрытые и непокрытые лесом участки. Покрытые лесом участки были разделены по степени гибели древостоев на 4 категории: 0–25; 26–50; 51–75 и более 75 %. Выявлены их площади в динамике через 1 и 2 года после пожара. На 2-й год после пожара площадь насаждения, где гибель деревьев составляет более 75 %, увеличилась с 619,7 до 1059,2 га и занимала более 1/3 территории, пройденной огнем. Данные инструментальных измерений и спутниковых снимков показали высокое сходство полученных результатов.

Ключевые слова: лесной пожар, интенсивность пожара, степень повреждения древостоя, мультиспектральные космоснимки, классификация древостоев, Башкирский заповедник

Благодарности: Сбор данных выполнен за счет госбюджетной тематики ФГБУ «Башкирский государственный заповедник» № 122122000046-6. Автор выражает благодарность Александру Михайловичу Волкову за помощь в обработке космических снимков.

Для цитирования: Гайсин И.К. Послепожарные изменения в светлохвойных лесах Башкирского заповедника // Изв. вузов. Лесн. журн. 2025. № 1. С. 98–114. <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-1-98-114>

Original article

Post-Fire Changes in Light Coniferous Forests of the Bashkir Nature Reserve

Ildar K. Gaisin, Leading Research Scientist; ResearcherID: [LOK-8865-2024](https://orcid.org/0009-0009-4591-3827),

ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4591-3827>

Bashkir State Nature Reserve, ul. Karat, 2, Starosubkhangulovo Village, Republic of Bashkortostan, 453580, Russian Federation; i.gaisin2012@yandex.ru

Received on June 26, 2023 / Approved after reviewing on September 18, 2023 / Accepted on September 23, 2023

Abstract. The assessment of the impact of fires on forest plantations in order to obtain information on the post-pyrogenic development of forest components over time is becoming increasingly relevant due to the increasing number of forest fires and the increase in the forest area affected by fire. The aim of the study has been to collect factual data on the processes of destruction and the initial stage of restoration of forest components in the Bashkir Nature Reserve after a major fire in 2020 in the Avdekte forestland. An analysis of post-fire changes in light coniferous plantations on the territory of the reserve after a ground fire has been carried out. For areas affected by fire of varying intensity, data are provided on changes in stand parameters 1 and 2 years after the fire, including a description of the dynamics of young growth, undergrowth, live ground cover and forest litter. The dependence of the proportion of dead trees on the stem diameter, the stock of the resulting litter and dead wood has been revealed. Young trees with a stem diameter of less than 16 cm and old-growth trees with fire scars or other damage have been the most severely affected. Medium-aged trees are characterized as the best preserved, which have a high potential for recovery after weakening under the influence of adverse factors. Using Sentinel-2 multispectral images, damage to stands 1 and 2 years after the fire has been assessed, and forested and unforested areas have been identified. The forested areas have been divided into 4 categories according to the degree of tree stand destruction: 0–25; 26–50; 51–75 and more than 75 %. Their areas have been identified in dynamics 1 and 2 years after the fire. In the 2nd year after the fire, the area of the plantation, where tree loss has been more than 75 %, has increased from 619.7 to 1059.2 ha and has been occupying more than 1/3 of the territory affected by fire. The data of instrumental measurements and satellite images have shown a high similarity of the results obtained.

Keywords: forest fire, fire intensity, degree of damage to the stand, multispectral satellite images, classification of stands, Bashkir Nature Reserve

Acknowledgements: Data collection was carried out at the expense of the state budget topic of the Federal State Budgetary Institution “Bashkir State Nature Reserve” no. 122122000046-6. The author expresses gratitude to Aleksandr Mikhailovich Volkov for assistance in processing satellite images.

For citation: Gaisin I.K. Post-Fire Changes in Light Coniferous Forests of the Bashkir Nature Reserve. *Lesnoy Zhurnal* = Russian Forestry Journal, 2025, no. 1, pp. 98–114. (In Russ.). <https://doi.org/10.37482/0536-1036-2025-1-98-114>

Введение

Природный пожар – это один из древнейших экологических факторов, определяющих динамику многих наземных экосистем, оказывая существенное воздействие на формирование состава сообществ [6, 12, 16, 18, 19].

Изучая массивы сосновых лесов, С.Н. Санников [17] пришел к выводу, что лесной пожар представляет собой сложнейший природный фактор, который действует внезапно, кратковременно и крайне интенсивно, вызывая глубокое и длительное прямое или косвенное преобразование всех взаимосвязанных компонентов биогеоценоза.

Многочисленные исследования показали значимость воздействия пожаров на древесную растительность. Это воздействие выражается при последующем естественном возобновлении, формировании структуры, в изменении динамики лесных экосистем и зависит от вида и интенсивности пожара. Однако в лесной экологии не сложилось целостного представления о многогранной биогеоценотической роли пожаров как глобального комплексного фактора, вызывающего одновременную трансформацию всех взаимосвязанных элементов экосистемы [20, 28].

Для различных районов произрастания светлохвойных лесов установлено, что процессы восстановительной сукцессии напрямую связаны с такими факторами, как интенсивность пожара, тип леса, возраст материнского древостоя, рельеф местности, экспозиция [25], эдафические и экологические факторы [2, 22, 23, 26], степень прогорания лесной подстилки [24].

Целью работы было исследование процессов деструкции и начальной стадии восстановления основных компонентов леса в светлохвойных насаждениях Башкирского заповедника в массиве Авдэктэ после крупного пожара 2020 г.

Объекты и методы исследования

Исследование проводилось в Башкирском заповеднике в массиве Авдэктэ ($53^{\circ}15' - 53^{\circ}50'$ с. ш. $57^{\circ}36' - 58^{\circ}12'$ в. д.), где в 2020 г. прошел низовой лесной пожар с различной интенсивностью горения в разных локациях. Общая площадь пожара составляла 3130 га, из них 3042,1 га пришлось на территорию Башкирского заповедника, остальная часть пожара охватывала сопредельную территорию, на которой анализ не осуществлялся.

Район исследования расположен в юго-восточной части горно-лесного пояса Республики Башкортостан. Леса занимают около 80 % территории заповедника, в западной части представлены смешанными с преобладанием *Pinus sylvestris* L. и чистыми сосняками, а верхние части склонов южной экспозиции, вершины хребтов и увалов характеризуются превалированием *Larix archangolica* P. Lawson (*L. sukaczewii*) с примесью сосны. Мелколиственные леса, состоящие из *Betula pendula* L. и *Populus tremula* L. с участием сосны, произрастают преимущественно в восточной части заповедника.

Леса заповедника отличаются высокой горимостью. Следует отметить, что в пределах горного массива Южный Крака, расположенного в западной половине территории, лесов, ранее не подвергнувшихся воздействию пожаров, практически нет. Предопределяют большую пожарную опасность резко континентальный климат, засушливый, с недостаточным выпадением осадков весной и в 1-й половине лета, а также низкой относительной влажностью в вегетационный период. Усиливает пожарную опасность и значительно расчлененный горный характер рельефа с крутыми склонами. Леса Южного Крака в настоящее время представляют собой сложные комплексы, которые находятся на разных этапах послепожарной демутации. Для любого периода восстановительной сукцессии конкретных фитоценозов характерны различный состав и возраст древесно-кустарниковых растений и живого напочвенного покрова (ЖНП) [3, 26].

Исследование проводилось в 2021 и 2022 гг. на постоянных пробных площадях (ПП), заложенных на участках леса, подвергшихся пожару. Участки подбирались по космическим снимкам субметрового разрешения 2021 г. с последующим визуальным осмотром на месте и разделением на 4 категории по степени усыхания деревьев: слабая интенсивность – степень усыхания деревьев до 25 %; средняя – 26–50 %; сильная – 51–75 %; очень сильная – более 75 %. Устойчивость древостоев различных возрастных категорий к воздействию огня отличается [19], поэтому ПП располагались в древостоях, где средний возраст был в пределах одной возрастной категории – в приспевающих насаждениях.

ПП заложены размером 50×40 м. На них проводился пересчет всех деревьев с измерением диаметра на высоте 1,3 м, высоты стволов, оценкой жизненного состояния деревьев по 5-балльной системе [1] с некоторыми изменениями: 1 – мертвое; 2 – отмирающее; 3 – сильно поврежденное; 4 – поврежденное; 5 – здоровое дерево. Как мертвые учитывали только те экземпляры, которые были повреждены и погибли после пожара, старый сухостой в расчет не принимался. Оставшиеся после пожара жизнеспособный подрост и подлесок рассматривались отдельно. Проведено общее описание площадки, средней высоты нагара, захламленности в виде валежа, измерение толщины подстилки, если она отмечена, а также проективного покрытия и флористического богатства (ЖНП) с определением видов растений на учетных площадках, расположенных по диагонали ПП. Размеры учетных площадок составляли 2×2 м. Виды, которые невозможно было классифицировать на месте, гербаризовали. Учет захламленности выполнялся посредством измерения диаметров и длин всего валежа на ПП с последующим вычислением его запаса. К свежему относили валежник текущего года, остальное – к старому.

Общая площадь лесов по категориям интенсивности усыхания крон вычислена на основе спутниковых снимков Sentinel-2 за 2021 и 2022 гг. Для обработки данных дистанционного зондирования Земли была использована программа QGIS. Снимки подвергнуты атмосферной коррекции через модуль Semi-Automatic Classification Plugin v.7.10.11 программы QGIS v.3.26.2. Далее снимки автоматически кластеризовались методом ISODATA с созданием 10 классов и 10 итераций. Полученные растровые классы векторизовались с помощью стандартного инструмента конвертации растров программы QGIS. Информация об отдельных классах растительности сопоставлена с космоснимками высокого разрешения (0,5 м × 1 пикс.) для отнесения их к соответствующей категории лесных участков по степени повреждения древостоев, а также выделения редколесий и безлесных участков, подвергшихся пожару. Так как выделенных классов было больше, чем стадий повреждения древостоев, отдельные классы объединяли в соответствующую категорию.

Результаты исследования и их обсуждение

ПП № 1-21 заложена в квартале 108, в выделе 74, в средней части склона северо-восточной экспозиции 10–12°. Координаты – 53°21'25,17" с. ш. 57°51'24,02" в. д. Территория подверглась низовому пожару слабой интенсивности. На момент отбора участков усыхание древостоев составляло до 25 %. Характеристика древостоя до пожара и по прошествии 1 и 2 лет после него приведена в табл. 1.

Таблица 1

**Таксационная характеристика древостоя пробной площади № 1-21
до и после пожара**
**The inventory characteristics of the stand of the sample plot no. 1-21
before and after the fire**

Таксационный показатель	До пожара	После пожара	
		2021 г.	2022 г.
Высота нагара, м	–	0,5–1,0 м	–
Состав древостоя	6С3Лц1Б	8С2Лц+Б	7С3Лц+Б
Средний возраст, лет	80	70	–
Густота, экз./га	–	640	602
Средний диаметр, см	22	20	18
Средняя высота, м	20	17	16
Площадь сечения стволов, м ² /га	–	27,5	24,3
Полнота	0,8	0,8	0,7
Запас стволовой древесины, м ³ /га	280	205	177
Средний балл жизненного состояния	–	2,8	2,4
Запас свежего сухостоя, м ³ /га	–	22	29
Запас старого сухостоя, м ³ /га	3	3	–

Состав подроста до пожара – 10Б, высота деревьев – 3 м, количество – 1 тыс. шт./га. Характеристика древостоя до пожара приводится по таксационным описаниям лесоустройства 2015 г. Данные таксационного описания представлены для всего выдела и могут отличаться от инструментальных измерений конкретной ПП.

В год после пожара наблюдалась свежая захламленность – 5–7 м³/га. Подрост, состоящий в основном из березы, подлесок из черемухи (*Prunus padus* L.), ракитника (*Chamaecytisus ruthenicus* Fisch. ex Wolf.) и шиповника майского (*Rosa majalis* Herrm) сильно пострадал, на ПП встречаются редкие экземпляры перечисленных видов. Проективное покрытие ЖНП равняется 40 % и включает иван-чай (*Chamaenerion angustifolium* L.) – 60 %; вейник тростниковидный (*Calamagrostis arundinacea* L.) – 10 %; жабрицу Крылова (*Seseli krylavii* V. Tichom.) – 5 %; бубенчик лилиелистный (*Adenophora liliifolia* L.) – 3 %; землянику (*Fragaria vesca* L.) – 1 %; мхи (sp.) – 5 %; в единичных экземплярах обнаружены фиалка холмовая (*Viola collina* Besser), тысячелистник обыкновенный (*Achillea millefolium* L.), смолка клейкая (*Viscaria vulgaris* Bernh.).

Через год после пожара отмечено ослабление всех деревьев, средний балл жизненного состояния – лишь 2,8. Наиболее пострадали молодняки, доля деревьев этой группы возраста, имеющих балл жизненного состояния 4 и выше, составляет только 4 %.

Подстилка прогорела частично, даже на участках, пройденных огнем, ее средняя толщина равняется 2–4 см. Зафиксированы обширные участки, где белый низовой пожар практически не затронул эту часть биогеоценоза.

Повторный учет в 2022 г. показал, что деревья, состояние которых характеризуется 2 баллами, погибли полностью. Отмирали деревья как с изначально низким баллом жизненного состояния, так и с высоким. Среднее жизненное состояние снизилось до 2,4 балла. Увеличилось количество захламленности.

Проективное покрытие ЖНП на 2-й год после пожара существенно увеличилось и составило 95 %. Видовое разнообразие практически не изменилось,

преобладали иван-чай – 90 %, вейник тростниковидный – 5 %, мхи – 2 %, остальные виды, отмеченные в предыдущем году, встречались единично. Обнаружено несколько экземпляров нового для территории вида – одуванчика обыкновенного (*Taraxacum officinale* L.).

ПП № 2-21 расположена в квартале 120, в выделе 16, в нижней части склона южной экспозиции с крутизной 15°. Координаты – 53°21'20,56" с. ш. 57°51'12,69" в. д. Данная ПП подверглась низовому пожару средней, местами сильной интенсивности. На момент отбора участков усыхание крон древостоев ПП составляло от 26 до 50 %. Захламленность – 15–20 м³/га. Подрост, состав которого до пожара был 7С3Лц, при высоте 1 м в количестве 0,5 тыс. шт./га, полностью погиб после пожара. В подлеске очень редко встречались ракитник, карагана кустарниковая (*Caragana frutex* L.) и шиповник, также отмечено 2 куста можжевельника обыкновенного (*Juniperus communis* L.). Захламленность свежая – 5 м³, старая – 10 м³.

Проективное покрытие ЖНП – 25 %. Он состоит из вейника тростниковидного – 30 %; псефеллюса сибирского (*Psephellus sibiricus* L.) – 15 %; жабрицы порезниковой (*Seseli libanotis* L.) – 15 %; тысячелистника обыкновенного – 10 %; иван-чая – 10 %; бубенчика лилиелистного – 5 %; земляники – 5 %; косяники (*Rubus saxatilis* L.) – 5 %; горца альпийского (*Aconogonon alpinum* Schur) – 5 %. Единично встречаются мхи (sp.), фиалка холмовая, кровохлебка лекарственная (*Sanguisorba officinalis* L.), смолка клейкая, герань лесная (*Geranium sylvaticum* L.), душица лекарственная (*Origanum vulgare* L.), ясcolка уральская (*Cerastium uralense* L.), сон-трава (*Pulsatilla patens* (L.)).

Лесная подстилка сгорела на 90 %, остались лишь отдельные неповрежденные островки средней мощностью 2–3 см.

Древостой значительно пострадал от воздействия огня, большая часть погибших и сильно ослабленных деревьев имела диаметр меньше 15 см (табл. 2). При этом самые крупные деревья также в большой степени пострадали, о чем свидетельствуют пожарные подсушины – следы прежних пожаров или другие повреждения на стволе.

Таблица 2

Таксационная характеристика древостоя пробной площади № 2-21 до и после пожара
The inventory characteristics of the stand of the sample plot no. 2-21 before and after the fire

Таксационный показатель	До пожара	После пожара	
		2021 г.	2022 г.
Высота нагара, м	–	1,0	–
Состав древостоя	8С2Лц+С+Лц	9С1Лц ед. Б	7С3Лц
Средний возраст, лет	80; 130	64	–
Густота, экз./га	–	835	675
Средний диаметр, см	24,0	19,4	20,9
Средняя высота, м	18,0	16,6	17,5
Площадь сечения стволов, м ² /га	–	29,6	25,04
Полнота	0,6	0,6	–
Запас стволовой древесины, м ³ /га	240,0	239,5	207,8
Средний балл жизненного состояния	–	2,7	2,3
Запас свежего сухостоя, м ³ /га	–	32	41
Запас старого сухостоя, м ³ /га	1	–	–

Повторный учет в 2022 г. показал, что деревья, имевшие низкое жизненное состояние, усохли. Количество захламленности увеличилось до 25 м³/га.

Проективное покрытие ЖНП составило 70 %. Преобладали иван-чай – 80 %, вейник тростниковидный – 15 %, горец альпийский – 5 %. Остальные ранее отмеченные на ПП виды встречены в единичных экземплярах, не обнаружена ясколка уральская.

ПП № 3-21 заложена в квартале 119, в выделе 42, в средней части склона западной экспозиции с крутизной 15°. Координаты – 53°21′06,19″ с. ш. 57°50′38,61″ в. д. По территории прошел низовой пожар сильной интенсивности. На момент отбора участков усыхание крон древостоев ПП было от 51 до 75 %, средняя высота нагара – 1,4 м. Захламленность свежая – 15 м³, старая – 2 м³. Валежник, который зафиксирован на ПП до пожара, полностью сторел.

Проективное покрытие ЖНП равнялось 25 %. Его формировали вейник тростниковидный – 30 %; иван-чай – 30 %; жабрица порезниковая – 15 %; чина весенняя (*Lathyrus vernus* L.) – 5 %; бубенчик лилиелистный – 5 %; земляника – 5 %; костяника – 5 %; черника (*Vaccinium myrtillus* L.) – 5 %. Единично встречались коротконожка перистая (*Brachypodium pinnatum* L.), орляк обыкновенный (*Pteridium aquilinum* L.), фиалка горная (*Cyclamen europeum* L.), грушанка круглолистная (*Pyrola rotundifolia* L.), золотарник золотая розга (*Solidago virgaurea* L.), кровохлебка лекарственная, герань лесная, душица лекарственная и ясколка уральская.

Подрост и подлесок полностью погибли после пожара. Лесная подстилка сгорела, остались лишь отдельные пятна, толщиной до 1 см.

Древостой очень сильно пострадал от устойчивого низового пожара вне зависимости от возраста деревьев: если в 1-й год запас свежего сухостоя составил 82 м³/га, то на 2-й год – 102,1 м³/га. Более устойчивой оказалась лиственница, ее доля в составе древостоя увеличилась (табл. 3).

Таблица 3

Таксационная характеристика древостоя пробной площади № 3-21 до и после пожара
The inventory characteristics of the stand of the sample plot no. 3-21 before and after the fire

Таксационный показатель	До пожара	После пожара	
		2021 г.	2022 г.
Высота нагара, м	–	1,5	–
Состав древостоя	7С3Лц	6С4Лц ед. Б	5С5Лц
Средний возраст, лет	90,0	94,5	98,2
Густота, экз./га	–	580	395
Средний диаметр, см	24,0	21,5	22,8
Средняя высота, м	18,0	19,2	20,2
Площадь сечения стволов, м ² /га	–	22,6	17,0
Полнота	0,7	0,6	–
Запас стволовой древесины, м ³ /га	200,0	206,3	158,9
Средний балл жизненного состояния	–	2,1	1,9
Запас свежего сухостоя, м ³ /га	–	82,0	102,1
Запас старого сухостоя, м ³ /га	–	10	–

Повторный учет в 2022 г. показал снижение жизненного состояния деревьев, в живых осталось всего 395 шт./га – почти в 2 раза меньше, чем в предыдущем году. Их совокупное жизненное состояние было всего 1,9 балла. Абсолютное большинство деревьев значительно ослабли, практически нет деревьев с «хорошей» оценкой. Вследствие падения деревьев увеличилось количество захламленности, достигнув 50 м³/га.

Через 2 года после пожара проективное покрытие ЖНП составило 85 %. Преобладал иван-чай – 85 %; вейник тростниковидный – 10 %; бодяк полевой (*Cirsium arvense* L.) – 5 %. Остальные виды встречались в единичных экземплярах.

ПП № 4-21 заложена в квартале 107, выдел 95, в нижней части склона северо-западной экспозиции, крутизной 5°. Координаты – 53°21'33,93" с. ш. 57°50'55,13" в. д. ПП подверглась устойчивому низовому пожару сильной интенсивности. На момент отбора участков усыхание крон древостоев равнялось более 75 %. Подрост, подлесок, старый валежник, лесная подстилка и ЖНП полностью сгорели. Проективное покрытие ЖНП – всего 5 %, в его состав входят вейник тростниковидный – 70 %; злаки (sp.) – 30 %. Единично встречаются плаун булавовидный (*Lycopodium clavatum* L.), герань лесная и бубенчик лилиевый (табл. 4).

Таблица 4

Таксационная характеристика древостоя пробной площади № 4-21 до и после пожара

The inventory characteristics of the stand of the sample plot no. 4-21 before and after the fire

Таксационный показатель	До пожара	После пожара	
		2021 г.	2022 г.
Высота нагара, м	–	До 2,0	–
Состав древостоя	7СЗБ+С+Лц	10С+Лц	10С+Лц
Средний возраст, лет	80,0	87,1	–
Густота, экз./га	–	540	290
Средний диаметр, см	26,0	30,5	31,6
Средняя высота, м	22,0	25,5	26,4
Площадь сечения стволов, м ² /га	–	37,6	23,6
Полнота	0,8	0,8	–
Запас стволовой древесины, м ³ /га	350,0	381,9	275,7
Средний балл жизненного состояния	–	2,3	1,7
Запас свежего сухостоя, м ³ /га	–	70,8	200,0
Запас старого сухостоя, м ³ /га	–	6	–

На ПП наблюдается свежая захламленность – до 50 м³/га. Подрост и подлесок во время пожара сгорели полностью.

Древостой также сильно пострадал от воздействия огня: в 1-й год после пожара число живых деревьев составляло 540 шт./га и их среднее жизненное состояние было 2,3, на 2-й год осталось всего 290 шт./га со средним жизненным состоянием меньше 2, при этом удовлетворительное жизненное состояние имели 5–7 % деревьев. Это означает полную деградацию и дальнейшую гибель древостоя. Увеличилось количество захламленности, объем которой в 2022 г. – более 75 м³/га.

На 2-й год после пожара ПП полностью заросла иван-чаем высотой более 1,5 м, его проективное покрытие достигло 95 %, остальные ранее отмеченные виды встречены в единичных экземплярах. Надо сказать, что лиственница более устойчива по сравнению с сосной. На всех исследуемых ПП среди экземпляров этого вида с диаметром более 22 см погибших практически не отмечено.

На 2-й год после пожара всходов древесных растений на исследуемых ПП не обнаружено. Вне ПП зафиксировано небольшое количество всходов сосны и множество – березы.

Анализ погибших деревьев в зависимости от диаметра ствола с подразделением по ступеням толщины показал, что наиболее пострадали тонкомерные деревья, находящиеся в пределах ступени толщины 8 см. На участках, пройденных пожаром слабой интенсивности, в 1-й год погибло 77,6 на 2-й – уже 86,6 % (рис. 1) деревьев. По мере увеличения интенсивности огня доля погибших или сильно ослабленных деревьев для ступени толщины 8 см росла, достигая 100 %. Количество погибших деревьев по ступеням толщины обратно пропорционально диаметру ствола.

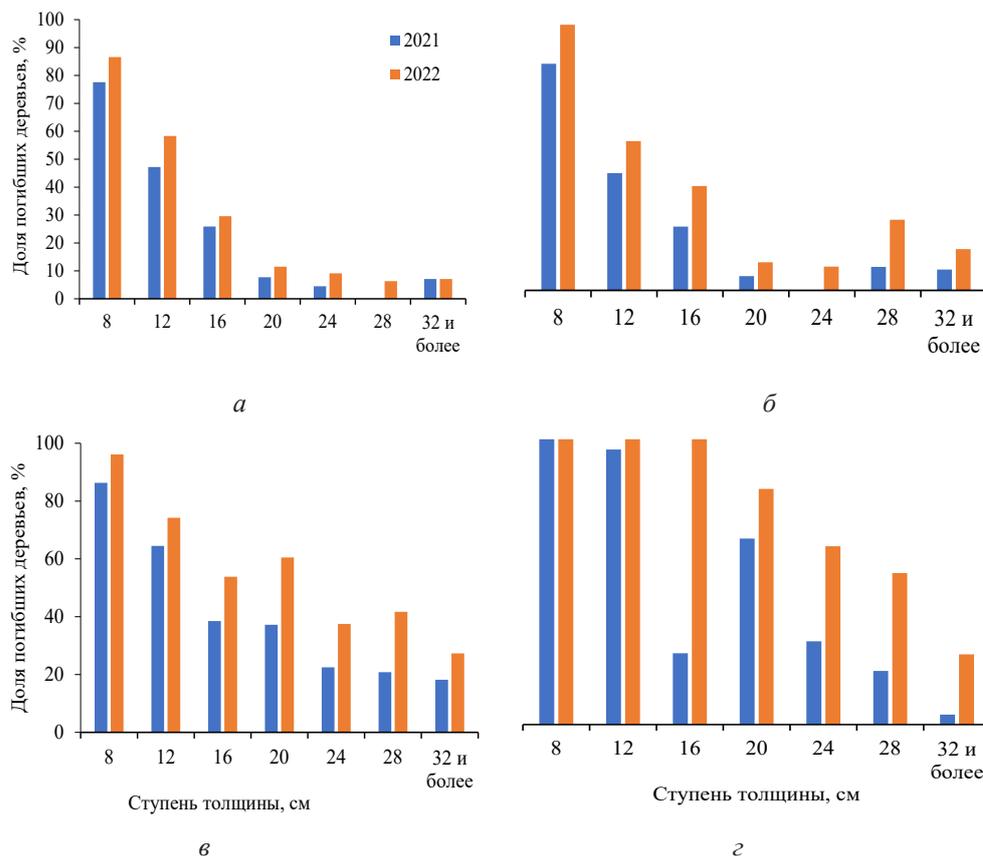


Рис. 1. Зависимость доли погибших деревьев от диаметров в 1-й и 2-й годы после пожара на ПП: а – № 1-21; б – № 2-21; в – № 3-21; г – № 4-21

Fig. 1. The dependence of the proportion of dead trees on diameter sizes in the 1st and 2nd years after the fire on the SP: а – no. 1-21; б – no. 2-21; в – no. 3-21; г – no. 4-21

Как видно из рис. 1, наименее пострадавшими являлись деревья в пределах ступени толщины 24 см, где сосредоточено большее число деревьев. Исключение составляет ПП № 4-21, на которой интенсивность горения была очень высокой. Полученный нами результат подтверждается литературными данными: средневозрастные и приспевающие деревья в отличие от молодняка имеют достаточно толстую кору, что позволяет им во время горения не получить необратимые повреждения, приводящие к гибели. В то же время они обладают максимальной устойчивостью и высоким потенциалом для восстановления после ослабления под воздействием неблагоприятных факторов, что нельзя сказать про старовозрастные деревья [7, 19].

Распределение деревьев на ПП по категориям жизненного состояния показало, что наибольшую долю на всех исследуемых участках занимает сухостой, которого на 2-й год становится предсказуемо больше (рис. 2).

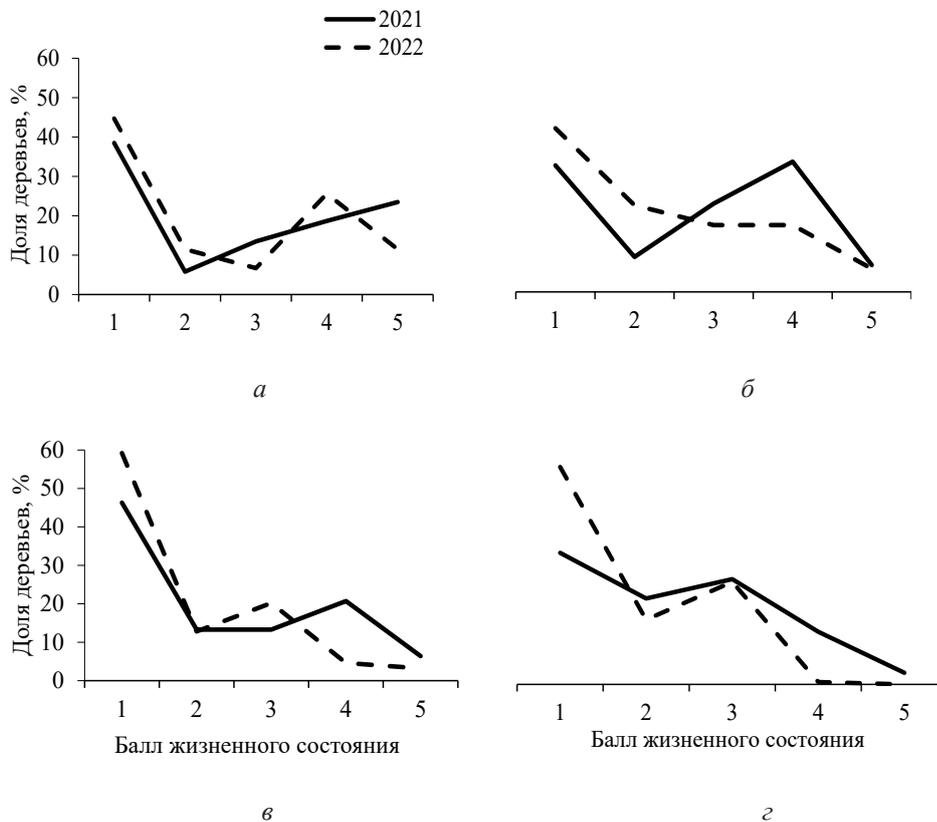


Рис. 2. Распределение деревьев по категориям жизненного состояния на ПП: а – № 1-21; б – № 2-22; в – № 3-21; г – № 4-21

Fig. 2. The distribution of trees by vitality categories on the SP: а – no. 1-21; б – no. 2-22; в – no. 3-21; г – no. 4-21

Увеличение числа деревьев с оценкой «3» на 2-й год после пожара на ПП № 3-21, 4-21 и «4» – на ПП № 1-21 объясняется снижением жизненного состояния поврежденных и здоровых деревьев. Категория здоровых принята условно, по визуальным признакам, т. к. даже после слабого беглого пожара почти не остается неповрежденных деревьев. На участках, пройденных

пожаром сильной интенсивности – ПП № 3-21 и 4-21, доля деревьев 4-й и 5-й категорий жизненного состояния на 2-й год после пожара составила менее 5 %.

Об устойчивости светлохвойных насаждений к воздействию низовых пожаров и их пирогенном происхождении написано немало работ [10, 14, 15, 19], в которых отмечается, что величина отпада зависит от интенсивности пожара, огнестойкости пород и их состояния [20, 21]. Степень повреждения древостоя и отпад определяются целым рядом факторов: засушливостью пожароопасного сезона, ветром, запасом напочвенных горючих материалов, возрастом, составом, диаметром, высотой древостоя и т. д. [11–13]. В значительной степени на этот процесс влияет климатический фактор, который обуславливает состояние насаждений [27]. Исследования показывают: если предшествующий пожару период был жарким, сухим, приводящим к влагодефициту стрессу и ослаблению насаждений, то воздействие пожара влечет за собой повышенный послепожарный отпад насаждений [23]. Важным является установление после пожара благоприятных условий, выпадение достаточного количества осадков, потому что в результате прохождения огня существенно изменяются физико-химические свойства, водно-воздушный и гидротермический режимы почв, что приводит к повышенному испарению, потере влаги, доступной растениям. Ослабленные воздействием пожаров насаждения становятся особенно уязвимыми к влиянию метеорологических условий [8]. В районе исследования предшествующий 2019 г. был чрезвычайно засушливым, а в 2020 г. уже с начала летних месяцев установилась погода с экстремально жаркими температурами и отсутствием осадков, повлекшая возникновение пожара высокой интенсивности. Последующий 2021 г. также был засушливым и жарким, следствием стала гибель выживших после огневого воздействия ослабленных деревьев. Этим объясняется то, что в 1-й год после пожара наиболее пострадали тонкомерные деревья, кора которых не могла защитить камбий от ожога. На 2-й год, кроме усыхающих тонкомерных деревьев, интенсивно гибли крупные экземпляры, в 1-й год имевшие хорошее жизненное состояние.

Наиболее устойчивыми являются спелые светлохвойные насаждения, ранее не подвергавшиеся пожару, с толщиной коры более 6,5 мм [7]. Леса района исследования ранее неоднократно испытывали пирогенное воздействие, о чем свидетельствуют послепожарные подсушины на стволах крупных деревьев. К сожалению, у нас нет достоверных данных о лесных пожарах, которые возникали на изучаемых участках. Многие деревья с подсушинами вывалились из-за полного прогорания основания ствола во время пожара, часть погибла на 2-й год. То же самое произошло с сухостойными деревьями: отмечен вывал практически всего сухостоя с последующим полным сгоранием.

Ослабленные насаждения поражаются энтомовыми вредителями, которые увеличивают гибель деревьев. Глазомерная оценка поврежденности древостоев энтомовыми вредителями показала, что уже в 1-й год после пожара произошло активное поражение до 30 % деревьев. На 2-й год пострадало от 30 до 70 %, на некоторых участках – до 95 % древостоя, в зависимости от его состава, возраста, условий местопрорастания и степени повреждения огнем. После крупных пожаров численность вредителей, по данным литературных источников, растет

в течение 3 лет, после чего постепенно убывает [9]. Гибель деревьев на 4-й год после воздействия низовых пожаров происходит прежде всего вследствие заселения ослабленных деревьев энтомоvoreдителями [5].

В 1-й год после пожара низкое проективное покрытие ЖНП объясняется тем, что лесные виды травянистых растений уязвимы перед огневым воздействием: при полном прогорании подстилки погибают даже устойчивые корневищные растения. Иван-чай не успевает полностью заселить оголившиеся от травостоя участки послепожарной территории. На 2-й год гарь зарастает им почти полностью [4, 14].

В 1-й год после пожара безлесные пространства занимали 6,5 %, редколесья – 16,6 %, на 2-й год площади безлесных участков и редколесий увеличились на 11,9 и 23,7 % соответственно (табл. 5). Такой рост ожидаем, т. к. деревья погибали, происходил вывал, сомкнутость крон и полнота снижались, ранее сомкнутые насаждения квалифицировались как редколесья, а редколесья становились безлесными. На покрытых лесом площадях в 1-й год преобладали участки с повреждением от 0 до 25 %, а также от 51 до 75 % деревьев. На 2-й год насаждения, погибшие более чем на 75 %, составляли более 1/3 лесов, подвергшихся воздействию пожара (рис. 3). Материалы, полученные на основе космоснимков и наших инструментальных замеров, согласуются: выявлены постпирогенная деградация и гибель насаждений в зависимости от интенсивности и характера пожара. Наиболее сильно пострадали насаждения на склонах южных экспозиций, на возвышенных частях рельефа и в сухих условиях местообитаний. Меньше всего – насаждения влажных типов местообитаний и в западной части горного массива Авдэктэ на пониженных частях рельефа. Это объясняется тем, что интенсивность огня во влажных условиях ниже, а на сухих южных склонах горючий материал разлагается меньше, накапливается в виде подстилки и за короткий срок достигает горючей зрелости, способствуя интенсивности пожара.

Таблица 5

Распределение пройденной пожаром территории Башкирского заповедника по категориям
The distribution of the territory of the Bashkir Nature Reserve affected by fire by categories

Категория	2021 г.		2022 г.	
	га	%	га	%
Безлесные пространства (горные степи, луга, пустыри)	198,3	6,5	362,1	11,9
Редколесья с сомкнутостью крон до 35 %	503,6	16,6	721,6	23,7
Насаждения, поврежденные на 0–25 %	683,3	22,5	498,8	16,4
На 26–50 %	349,6	11,5	153,0	5,0
На 51–75 %	687,5	22,6	247,3	8,1
Более чем на 75 %	619,7	20,4	1059,2	34,8
<i>Всего</i>	3042	100	3042	100

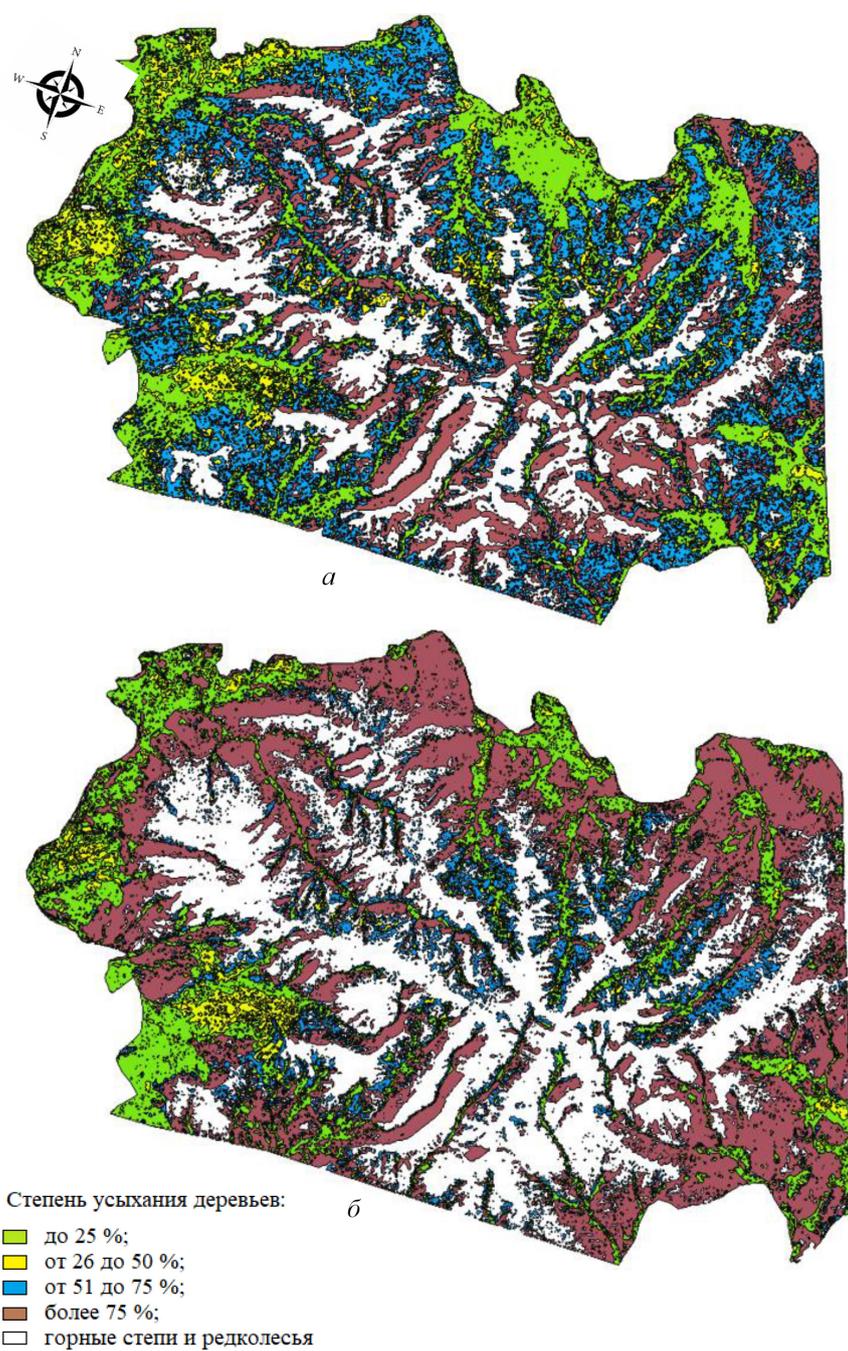


Рис. 3. Динамика насаждений по степени усыхания крон деревьев по данным мультиспектральных космоснимков Sentinel-2: *a* – 2021 г.; *б* – 2022 г.

Fig. 3. The dynamics of plantations by the degree of drying out of tree crowns according to Sentinel-2 multispectral satellite images: *a* – 2021; *б* – 2022

Выводы

1. После лесного пожара в Башкирском заповеднике в массиве Авдэктэ произошли существенные изменения всех компонентов леса в зависимости от интенсивности воздействия огня.

2. Наиболее динамичный компонент леса – травянистые растения – на 2-й год показал начало восстановительных процессов, наблюдалось интенсивное зарастание исследуемых участков иван-чаем, в проективном покрытии увеличилась доля вейника тростниковидного и других пионерных видов.

3. Древостой сильно пострадал от пожара, зафиксировано ослабление и отмирание древесных растений. Наиболее уязвлены молодняки, которые практически полностью погибли, вне зависимости от интенсивности огня. В насаждениях выросла доля деревьев с низким жизненным состоянием. На 2-й год отмечены вывал и накопление валежника, увеличение захламленности. Ослабленные деревья интенсивно заселялись энтомофагами, что усиливало негативное воздействие пожара.

4. На 2-й год после пожара соотношение площадей с различной степенью повреждения насаждений значительно изменилось. Сократились площади с наименьшим повреждением, а участки, где гибель деревьев составила более 75 %, заняли около 1/3 площади, пройденной огнем. Процесс гибели насаждений, на наш взгляд, будет продолжаться.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Алексеев В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.

Alekseev V.A. Diagnostics of Tree Vitality and Stand Condition. *Lesovedenie = Forestry*, 1989, no. 4, pp. 51–57. (In Russ.).

Архипов Е.В., Залесов С.В. Отпад деревьев после низовых лесных пожаров в сосняках казахского мелкосопочника // Вестн. БГАУ. 2017. № 4. С. 90–97.

2. Arkhipov E., Zalesov S. Altrition of Trees after Ground Fires in Pine Forest of Kazakh Uplands. *Vestnik BGAU = Vestnik BSAU*, 2017, no. 4, pp. 90–97. (In Russ.). <https://doi.org/10.31563/1684-7628-2017-44-4-90-97>

3. Атутова Ж.В., Воронай Н.Н., Шуклина Е.С. Ландшафтно-климатические особенности восстановительной динамики пирогенно трансформированных геосистем Тункинской котловины // Трансграничные территории Востока России: факторы, возможности и барьеры развития: материалы междунар. науч.-практ. конф. Улан-Удэ: Бурят. гос. ун-тет им. Доржи Банзарова, 2021. С. 160–165.

Atutova Zh.V., Voronay N.N., Shuklina E.S. Landscape-Climatic Features of the Restoration Dynamics of Pyrogenically Transformed Geosystems of the Tunka Depression. *Cross-Border Territories of the East of Russia: Factors, Opportunities and Barriers to Development: Proceedings of the international scientific and practical conference. Ulan-Ude, September 06–08, 2021. Ulan-Ude, Buryat State University named after Dorzhi Banzarov, 2021, pp. 160–165. (In Russ.).*

4. Бибеева А.Ю., Макаров А.А., Ноговицын В.Н. Послепожарное восстановление растительного покрова северной части Приморского хребта // Геогр. вестн. 2022. № 3(62). С. 6–18.

Bibaeva A.Yu., Makarov A.A., Nogovitsyn V.N. Post-Fire Restoration of Vegetation in the Northern Part of the Primorsky Range. *Geograficheskij vestnik = Geographical Bulletin*, 2022, no. 3(62), pp. 6–18. (In Russ.). <https://doi.org/10.17072/2079-7877-2022-3-6-18>

5. Буряк Л.В., Зарубин Д.С., Кукавская Е.А., Каленская О.П. Оценка воздействия пожаров на древостои хвойных насаждений на территории заповедника «Центрально-сибирский» // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 3, № 2. С. 199–203.

Buryak L.V., Zarubin D.S., Kukavskaya E.A., Kalenskaya O.P. Assessment of the Impact of Fires on Coniferous Forest Stands in the Territory of the “Tsentral’nosibirskij” Nature Reserve. *Interexpo Geo-Sibir’ = Interexpo Geo-Siberia*, 2017, vol. 3, no. 2, pp. 199–203. (In Russ.).

6. Ваганов Е.А., Арбатская М.К., Шашкин А.В. История климата и частота пожаров в центральной части Красноярского края. 2. Дендрохронологический анализ связи изменчивости прироста деревьев, климата и частоты пожаров // Сиб. экол. журн. 1996. Т. 3, № 1. С. 19–28.

Vaganov E.A., Arbatskaya M.K., Shashkin A.V. The History of Climate and the Frequency of Fires in the Central Part of the Krasnoyarsk Territory. 2. Dendrochronological Analysis of the Relationship between Tree Growth Variability, Climate, and Fire Frequency. *Sibirskij ekologicheskij zhurnal = Contemporary Problems of Ecology*, 1996, vol. 3, no. 1, pp. 19–28. (In Russ.).

7. Гирс Г.И. Проблема устойчивости хвойных растений к воздействию высокой температуры // Горение и пожары в лесу. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1973. С. 197–206.

Girs G.I. The Problem of Resistance of Coniferous Plants to High Temperatures. *Gorenie i pozhary v lesu: Proceedings of the 1st All-Union Scientific and Technical Conference*. Krasnoyarsk, Institute of Forest and Wood of the Siberian Branch of the USSR Academy of Science, 1973, pp. 197–206. (In Russ.).

8. Гирс Г.И. Физиология ослабленного дерева. Новосибирск: Наука, 1982. 255 с.

Girs G.I. *Physiology of a Weakened Tree*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1982. 255 p. (In Russ.).

9. Жила С.В. Отпад деревьев под воздействием пожаров в сосняках нижнего Приангарья // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2012. Т. 2, № 3. С. 72–76.

Zhila S.V. Tree Loss due to Fires in Pine Forests of the Lower Angara Area. *Interexpo Geo-Sibir’ = Interexpo Geo-Siberia*, 2012, vol. 2, no. 3, pp. 72–76. (In Russ.).

10. Зленко Л.В., Ключников М.В. Влияние низовых пожаров на возобновление сосны в Приобском левобережном районе Алтая: моногр. Красноярск: СибГТУ, 2013. 115 с.

Zlenko L.V., Klyuchnikov M.V. *The Impact of Ground Fires on Pine Regeneration in the Priobskij Left-Bank Area of Altai: Monograph*. Krasnoyarsk, Siberian State Technological University Publ., 2013. 115 p. (In Russ.).

11. Калинин К.К. Сукцессии растительного покрова на крупных горях Среднего Заволжья // Вестн. Мар. гос. техн. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2008. № 1. С. 19–28.

Kalinin K.K. Successions of Vegetation Cover on Large Fire-Sites of the Sredneye Zavolzhye Region. *Vestnik Marijskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol’zovanie = Vestnik of Mari State Technical University. Series: Forest. Ecology. Nature management*, 2008, no. 1, pp. 19–28. (In Russ.).

12. Корчагин А.А. Условия возникновения пожаров и горимость лесов Европейского Севера // Уч. зап. ЛГУ. 1954. № 166. Сер. геогр. наук. Вып. 9. С. 182–322.

Korchagin A.A. Conditions of Fire Occurrence and Flammability of Forests of the European North. *Uchenye zapiski Leningradskogo gosudarstvennogo universiteta*, 1954, № 166, series of geographical sciences, iss. 9, pp. 182–322. (In Russ.).

13. Леонова Н.А. Оценка сукцессионного состояния лесов в ландшафтах вторичных моренных равнин // University proceedings. Volga region. Natural sciences. 2021. № 4. С. 119–136.

Leonova N.A. Successional State of Forests in the Secondary Moraine Plains’ Landscapes. *University Proceedings. Volga Region. Natural Sciences*, 2021, no. 4, pp. 119–136. (In Russ.).

<https://doi.org/10.21685/2307-9150-2021-4-11>

14. Матвеев А.М., Матвеева Т.А. Роль пожаров в подпологовом возобновлении сосны обыкновенной // Междунар. науч.-исследоват. журн. 2017. № 4-1(Ч. 1) (58). С. 140–143.

Matveev A.M., Matveeva T.A. The role of fires in the sub-ecological renewal of scots pine. *Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skiy zhurnal* = International Research Journal, 2017, no. 4-1(part 1) (58), pp. 140–143. (In Russ.). <https://doi.org/10.23670/IRJ.2017.58.039>

15. Мелехов И.С. Влияние пожаров на лес. М.; Л.: Гослестехиздат, 1948. 126 с.

Melekhov I.S. *The Impact of Fires on Forests*. Moscow, Leningrad, Goslестekhizdat Publ., 1948. 126 p. (In Russ.).

16. Санников С.Н. Лесные пожары как эволюционно-экологический фактор возобновления популяций сосны в Зауралье // Горение и пожары в лесу: материалы I Всесоюз. науч.-техн. совещ. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1973. С. 236–277.

Sannikov S.N. Forest Fires as an Evolutionary-Ecological Factor in the Restoration of Pine Populations in the Trans-Urals. *Gorenie i pozhary v lesu*: Proceedings of the 1st All-Union Scientific and Technical Conference. Krasnoyarsk, Institute of Forest and Wood of the Siberian Branch of the USSR Academy of Science, 1973, pp. 236–277. (In Russ.).

17. Санников С.Н. Лесные пожары как фактор преобразования структуры, возобновления и эволюции биогеоценозов // Экология. 1981. № 6. С. 24–33.

Sannikov S.N. Forest Fires as a Factor in the Transformation of the Structure, Renewal and Evolution of Biogeocenoses. *Ekologiya*, 1981, no. 6, pp. 24–33. (In Russ.).

18. Санников С.Н. Эволюционная пироэкология: проблемы, принципы, гипотезы // Горение и пожары в лесу: тез. совещ. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1984. С. 35–37.

Sannikov S.N. Evolutionary Pyroecology: Problems, Principles, Hypotheses. *Gorenie i pozhary v lesu*: Meeting Abstracts. Krasnoyarsk, Institute of Forest and Wood of the Siberian Branch of the USSR Academy of Science, 1984, pp. 35–37. (In Russ.).

19. Фуряев В.В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 251 с.

Furyaev V.V. *The Role of Fires in the Process of Forest Formation*. Novosibirsk, Nauka Publ., 1996. 251 p. (In Russ.).

20. Фуряев В.В., Заблоцкий В.И., Черных В.А. Пожароустойчивость сосновых лесов. Новосибирск: Наука, 2005. 160 с.

Furyaev V.V., Zablotskiy V.I., Chernykh V.A. Fire Resistance of Pine Forests. Novosibirsk, Nauka Publ., 2005. 160 p. (In Russ.).

21. Фуряев В.В., Заблоцкий В.И., Черных В.А., Злобина Л.П. Устойчивость ленточных боров Алтая к воздействию пожаров // Лесоведение. 2009. № 3. С. 11–19.

Furyaev V.V., Zablotskiy V.I., Chernykh V.A., Zlobina L.P. Resistance of Altai Ribbon Forests to Fires. *Lesovedenie* = Russian Journal of Forest Science, 2009, no. 3, pp. 11–19. (In Russ.).

22. Фуряев В.В., Цветков П.А., Фуряев И.В. Пожароустойчивость сосновых лесов Евразии в экстремальные пожароопасные сезоны // Хвойные бореал. зоны. 2017. Т. 35, № 3–4. С. 68–73.

Furyaev V.V., Tsvetkov P.A., Furyaev I.V. Flammability of Pine Forests of Eurasia in Extreme Fire Seasons. *Khvoynye boreal'noi zony* = Conifers of the Boreal Area, 2017, vol. 35, no. 3–4, pp. 68–73. (In Russ.).

23. Atutova Zh.V. Post-Fire Restoration of Pine Forests in the Badary Area, Tunkinskiy National Park, Russia. Nature Conservation Research. Заповедная наука, 2023, no. 8(2), pp. 22–32. <https://doi.org/10.24189/ncr.2023.010>

24. Bellen van S., Garneau M., Bergeron Y. Impact of Climate Change on Forest Fire Severity and Consequences for Carbon Stocks in Boreal Forest Stands

of Quebec, Canada: a Synthesis. *Fire Ecology*, 2010, vol. 6, pp. 16–44. <https://doi.org/10.4996/fireecology.0603016>

25. Hao B., Xu X., Wu F., Tan L. Long-Term Effects of Fire Severity and Climatic Factors on Post-Forest-Fire Vegetation Recovery. *Forests*, 2022, vol.13(6), art. no. 883. <https://doi.org/10.3390/f13060883>

26. Kwiatkowska-Falińska A.J. Post-Fire Succession on Abandoned Fields in Coniferous Forest Habitat (Nord-East Poland). *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 2008, vol. 77, no. 3, pp. 245–254. <https://doi.org/10.5586/asbp.2008.031>

27. Menzel L., Yamkhin J., Yadamsuren G., Kopp B., Minderlein S., Munkhjargal M. Hydro-Ecological Landscape Research in the Khentii Mountains, Northern Mongolia. *Novel Methods and Results of Landscape Research in Europe, Central Asia and Siberia: Monograph in 5 Volumes*. Ed. By V.G. Sychev, L. Mueller. Vol. I. Landscapes in the 21st Century: Status, Analyses, Basic Processes and Research Concepts. Moscow, Publishing House of the Federal State Budgetary Scientific Institution «Pryanishnikov Institute of Agrochemistry», 2018, pp. 148–152. <https://doi.org/10.25680/2850.2018.38.33.025>

28. Zhong C., Guo M., Zhou F., Li J., Yu F., Guo F., Li W. Forest Succession Trajectories after Fires in Valleys and on Slopes in the Greater Khingan Mountains, China. *Journal of Forestry Research*, 2023, vol. 34, pp. 623–640. <https://doi.org/10.1007/s11676-023-01602-9>

Конфликт интересов: Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов
Conflict of interest: The author declares that there is no conflict of interest