

Сукцессия растительности после высокоинтенсивного пожара в сосняке лишайниковом

Г. А. ИВАНОВА¹, В. А. ИВАНОВ², Н. М. КОВАЛЕВА¹, С. Г. КОНАРД³, С. В. ЖИЛА¹, П. А. ТАРАСОВ²

¹ Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28
E-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru

² Сибирский государственный технологический университет
660049, Красноярск, просп. Мира, 82

³ Горная исследовательская станция Лесной Службы США
5775, Найвей 10, Миссула, Монтана, 59808, США

Статья поступила 09.03.2016

Принята к печати 23.06.2016

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты 20-летних исследований воздействия экспериментального высокоинтенсивного лесного пожара на компоненты экосистемы и постпирогенные сукцессионные процессы в средне-таежном сосняке. При пожаре сгорело до 44 % лесных горючих материалов (ЛГМ), эмиссия углерода составила более 18 т С/га. В результате пирогенного воздействия древостой погиб в первые три года после пожара вследствие чего произошло существенное накопление горючих материалов. Через 20 лет запасы напочвенных ЛГМ превысили допожарные значения в 4 раза, что создало возможность возникновения повторного высокоинтенсивного пожара. Начальный этап послепожарной сукцессии в сосняке определяется лесорастительными условиями и происходит со сменой доминантов травяно-кустарничкового покрова. После пожара выявлены изменения агрохимических и гидротермических показателей почвы, способствующие улучшению условий для появления и развития естественного возобновления, достаточного для формирования древостоя.

Ключевые слова: лесной пожар, сукцессия, сосняки, лесовозобновление, лесные горючие материалы.

Сосновые леса сосредоточены преимущественно в Сибири, где они произрастают на площади более 74 млн га [Лесной фонд..., 1999]. В связи с широким распространением сосновых насаждений, высокой аккумуляцией органических веществ в их надземной био-

массе, подстилке и почве, сосновые леса оказывают существенное воздействие на атмосферу и глобальный бюджет углерода [Углерод..., 1994]. В то же время им присуща высокая природная пожарная опасность [Мелехов, 1947; Курбатский, 1970; Фуряев, 1996

и др.]. На сосновые леса приходится до 60 % от общего числа лесных пожаров [Korovin, 1996], интенсивность которых широко варьирует в пространстве и во времени. Лесные пожары – достаточно крупный источник газоаэрозольной эмиссии [Grutzen, Andreae, 1990]. Эмиссии углерода при лесных пожарах варьируют от 3,4 до 75,4 С т/га в зависимости от типа растительности и интенсивности горения [Soja et al., 2004; Ivanova et al., 2011].

Предполагается, что наблюдаемое изменение климата может вызывать увеличение частоты лесных пожаров и их распространения [Flannigan et al., 2009]. Возрастание активности пожаров в бореальных лесах может приводить не только к увеличению выгоревшей площади, но и обострению экологических последствий воздействия пожаров на компоненты биogeоценоза [Abaimov et al., 2000; Fyryaev et al., 2001]. В связи с этим в настоящее время особую актуальность приобретают исследования воздействия высокоинтенсивных и катастрофических пожаров [Иванова и др., 2014; Kukavskaya et al., 2014] с известными параметрами горения на компоненты экосистемы. В рамках этих исследований в 1993 г. в Красноярском крае проведен международный эксперимент по горению биомассы [Firescan, 1996]. В течение 20 лет после пожара проведены наблюдения за отпадом деревьев, динамикой фитомассы и восстановлением нижних ярусов растительности.

Известно, что направленность послепожарного восстановления лесов во многом зависит от его начального этапа, который определяется степенью повреждения лесных экосистем, характером заселения освобожденных территорий, составом и сложением инициальных сообществ. На начальных этапах послепожарного лесовосстановления более четкими индикаторами лесорастительных условий и сукцессионных рядов являются виды растений нижних ярусов. Однако скорость и темпы сукцессионных процессов могут существенно различаться не только в пределах лесных формаций, но и отдельных экотопов [Иванова и др., 2002].

Основная цель исследований – оценка воздействия высокоинтенсивного пожара на основные компоненты экосистемы и их постпирогенную сукцессию в среднетаежном сосняке. В задачи работы входило изучение

послепожарного отклика экосистемы, включающего оценку и мониторинг воздействия высокоинтенсивного пожара на структуру древостоя, трансформацию почвенного покрова, агрохимические свойства почвы и послепожарный лесовозобновительный процесс.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в бассейне р. Хойбы, притока р. Дубчес на Сымской равнине Западно-Сибирской низменности (60°46' с. ш., 89°30' в. д.). Экспериментальный участок площадью 50 га представлял собой плоскую песчаную гриву, окруженную травяно-сфагновыми и крупно-осоковыми болотами. Поверхность ровная с незначительным уклоном на северо-запад. Почвенный покров участка однороден и сформирован иллювиально-железистым песчаным подзолом [Классификация..., 2004]. Сосновое насаждение лишайниковой группы типов леса является весьма типичным для широко распространенных в среднетаежной зоне сосняков.

Древостой (10С) пирогенного происхождения представлен двумя поколениями деревьев 130 и 180 лет, что является результатом высокоинтенсивных пожаров 1867 и 1796 гг. Единично встречались деревья более старшего возраста – 320–340 лет, появившиеся после пожара 1643 г. Из-за отдаленности и недоступности лесного массива от населенных пунктов, единственной причиной периодически возникавших пожаров являлись молнии.

При густоте древостоя 1470 экз./га средние диаметр и высота деревьев составляли 17,5 см и 17 м соответственно. Высоко поднятые (почти на 11 м) ажурные кроны имели сомкнутость 0,6–0,7. При относительной полноте 0,9 запас сырораствующей древесины равен 248 м³/га, а сухостоя – 14,6 м³/га.

Подрост редкий (до 1 тыс. экз./га), произрастал куртинами, представлен *Pinus sylvestris* L. и *Pinus sibirica* Du Tour. При среднем возрасте 20–25 лет его высота – 0,5–1 м. Подлесок редкий из *Rosa acicularis* Lindl. и *Salix caprea* L., по краю болота и в западинах встречалась *Spiraea salicifolia* L.

До проведения пожарного эксперимента сосняк лишайниковый характеризовался низким видовым разнообразием и проективным

покрытием травяно-кустарничкового яруса (см. табл. 3). Напочвенный покров имел четко выраженную мозаичность. Большую часть участка занимала лишайниковая микроассоциация, представленная кустистыми лишайниками *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda, *C. arbuscula* (Wallr.) Flot., *C. rangiferina* (L.) F. H. Wigg. По западинам небольшими куртинами представлена кустарничковая микрогруппировка из *Vaccinium vitis-idaea* L., *V. myrtillus* L., *V. uliginosum* L., *Ledum palustre* L. с примесью *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt. В склоновой части участка полосой вдоль болота произрастали *Calamagrostis purpurea* (Trin.) Trin. (*Calamagrostis langsdorfii* (Link) Trin.), *Carex globularis* L., *Vaccinium uliginosum* с примесью *Sphagnum* ssp. и *Polytrichum commune* Hedw.

Эксперимент по моделированию поведения контролируемого высокоинтенсивного пожара проведен в июле 1993 г. [Firescan, 1996; Valendik et al., 2013]. В ходе эксперимента развился пожар высокой интенсивности, распространяющийся за счет конвекции с элементами верхового и низового пожаров. Заключительная фаза горения представляла собой стену огня за счет одновременного горения всех ярусов растительности (см. рис. 4, а). Верховым пожаром было пройдено 57 % площади, при этом огонь распространялся со средней скоростью 25 м/мин. Интенсивность горения на кромке пожара составляла 28 тыс. кВт/м. Из-за сильной конвекции при горении образовалась дымовая колонка над пожаром, высотой до 5000 м [Firescan, 1996; Куценогий и др., 1996].

Лесоводственно-таксационное описание насаждения до и после воздействия пожара проводилось по методике В. Н. Сукачева и С. В. Зонна [1961]. Для оценки естественного возобновления использованы методики А. В. Побединского [1966] и В. А. Алексеева [1989]. Определение запасов напочвенных лесных горючих материалов (ЛГМ) проводилось по методике Н. П. Курбатского [1970], ветвей и валежа разной степени деструкции методом пересеченных линий [Van Wagner, 1968].

Геоботанические описания проводились по методике В. Н. Понятовской [1964]. Номенклатура сосудистых растений и мхов приведена согласно The Plant List [http://www.

theplantlist.org], лишайников – Список лишайнофлоры России [2010].

Морфологические исследования почвы и отбор ее образцов проводили согласно методике почвенных полевых исследований [Практикум..., 1980]. Классификационную принадлежность почвы устанавливали по “Классификации и диагностике почв России” [2004]. В лабораторных условиях агрохимические показатели почвенных образцов определяли по стандартной методике на инфракрасном анализаторе “Инфрапид-61”.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Воздействие пожара на структуру древостоя. На участке после верхового пожара высокой интенсивности, через год сосновый древостой погиб полностью. Это связано с тем, что деревья длительное время находились в зоне летальных температур. По данным измерений [Firescan, 1996], при пожаре максимальная температура горения на поверхности лишайникового покрова в сосняке достигала 850 °С, при этом температура 500 °С и более держалась в одной точке более 1 мин. На глубине 1–3 см температура свыше 100 °С наблюдалась 4,72 и 5,63 мин соответственно. Кроме воздействия высоких температур у многих деревьев обгорели кроны.

На участках леса, пройденных высокоинтенсивным низовым пожаром, через год погибло 57 % древостоя. Через два года у большинства деревьев полностью опала хвоя и облетела кора. Почти все деревья были заселены энтомофитами [Firescan, 1996], вследствие чего в последующие годы наблюдался их значительный отпад. По нашим наблюдениям через 20 лет количество деревьев, выживших после пирогенного воздействия, составляло 2,5 % (табл. 1).

Т а б л и ц а 1

Количество выживших деревьев после пирогенного воздействия

Год	Период после пожара, лет	Число живых деревьев, %
1994	1	43,0
1998	5	26,3
2005	12	13,4
2013	20	2,5

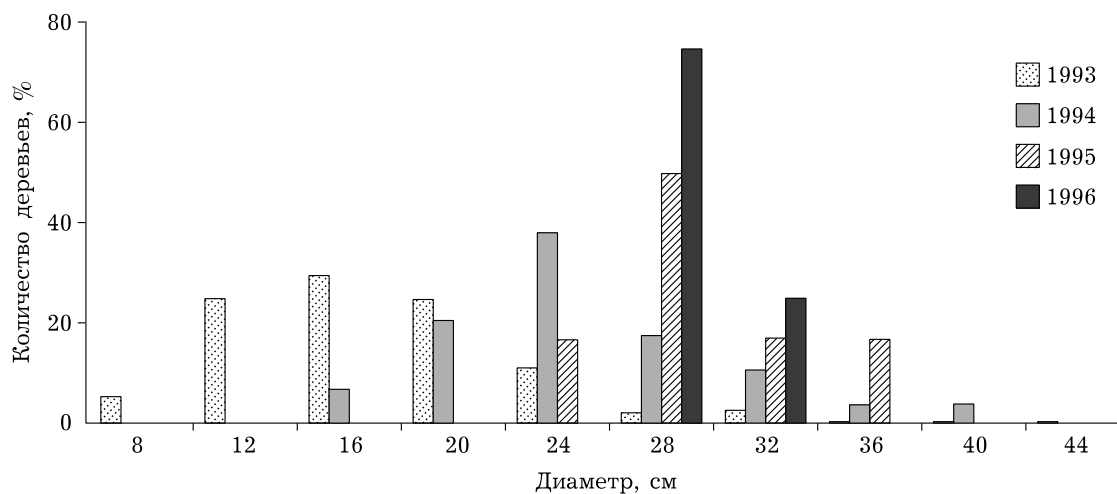


Рис. 1. Распределение деревьев по ступеням толщины до и после пожара через 1, 2 и 3 года

На рис. 1 показана временная динамика распределения живых деревьев по ступеням толщины. До пожара основную часть (77 %) составляли деревья низших ступеней – от 12 до 20 см. Из-за тонкой коры и низко опущенных крон большая их часть погибла при пожаре. Наряду с этим, отмечена и гибель значительного количества крупных деревьев, что, вероятно, связано со скоплением большого запаса напочвенных ЛГМ вблизи их стволов.

В первые два года после пироженного воздействия наиболее интенсивно происходил отпад деревьев 8, 12 и 16 см ступеней толщины. Через два года погибли все деревья, относящиеся к ступеням толщины 8–20 см. Через три года после пожара единично сохранились деревья, относящиеся к ступеням толщины 28 и 32 см. Сохранившиеся деревья произрастали в полосе, примыкавшей к болоту, где пожар оказался более низкой интенсивности. Через пять лет 10 % сухостойных деревьев, погибших в результате пожара, перешли в валеж, а оставшаяся часть сухостоя вывалилась через 10 лет (к 2005 г.) при ветровале (см. рис. 4, б).

Пироженная трансформация напочвенных ЛГМ. До экспериментального выжигания основная масса напочвенных лесных горючих материалов (ЛГМ) приходилась на подстилку, лишайники с опадом и упавшие древесные горючие материалы (УДГМ). Запас УДГМ до пожара, по данным Б. Стокса [Firescan, 1996], составлял 1,50 кг/м², при этом бóльшая часть (1,08 кг/м², или 72 %) представле-

на крупным (более 7 см в диаметре) валежом разной степени деструкции. По нашим данным запас лишайников с опадом и подстилкой составлял 3,36 кг/м². Доля трав и кустарничков в общих запасах напочвенных ЛГМ оказалась незначительной (табл. 2).

Глубина прогорания напочвенного покрова при экспериментальном выжигании пространственно варьировала и составляла 8,36 ± 2,23 см. В результате экспериментального пожара сгорело 3,71 кг/м² ЛГМ, из которых на напочвенные ЛГМ приходилось 2,44 кг/м², на УДГМ – 0,81, на кроновые ЛГМ – 0,46 кг/м² [Firescan, 1996; Valendik et al., 2013]. При этом в атмосферу выдвинулось до 18,56 т С/га, это в 1,2 и 6 раз превышало аналогичные показатели низовых пожаров высокой и низкой интенсивности в среднетаежном лишайниково-зеленомошном сосняке [Иванова и др., 2014].

Через год после эксперимента общий запас напочвенных ЛГМ составил 50 % от допожарного значения. На 12-й год данная величина практически достигла допожарного значения, через 20 лет – несколько превысило его (см. табл. 2). При этом в течение 12 лет в структуре запасов практически отсутствовали мхи и лишайники. Удельный вес трав и кустарничков, которые после пожара восстанавливаются быстрее, напротив, в несколько раз был выше.

В большей степени увеличилась доля опада и особенно подстилки, на которые приходилось 92,5–97,7 % (см. табл. 2). При этом, если в первые годы после пироженного воздей-

Запасы напочвенных ЛГМ до и после пожара в сосняке лишайниковом

Год	Период после пожара, лет	Вид ЛГМ				Всего
		лишайники и мхи	травы и кустарнички	опад	подстилка	
1993	*	1455	18	216	1670	3359
		43,3	0,5	6,5	49,7	100
1994	1	–	–	355	1314	1669
				21,3	78,7	100
1995	2	–	94	539	2016	2649
			3,6	20,3	76,1	100
1996	3	–	72	573	1790	2435
			3,0	23,5	73,5	100
1998	5	–	50	585	1660	2295
			2,2	25,5	72,3	100
2005	12	45	28	475	2692	3240
		1,4	0,9	14,6	83,1	100
2013	20	165	101	256	3038	3560
		4,7	2,8	7,2	85,3	100

П р и м е ч а н и е. * – год проведения эксперимента; числитель – г/м², знаменатель – %. Ошибка среднего значения варьирует от 10 до 20 %.

ствия наблюдалось интенсивное накопление опада за счет поступления хвои, коры, шишек и веточек с отмирающих деревьев, то в последующие годы происходило накопление подстилки и валежа. Через пять лет количество опада стало максимальным, к 20 годам оно уменьшилось вдвое (см. табл. 2). С одной стороны, это обусловлено прекращением поступления опада с деревьев, с другой – деструкцией его напочвенных запасов. Кроме того, поступление разложившегося опада и валежа в подстилку в значительной степени обусловили к 20 годам почти двукратное, по сравнению с допожарным значением, увеличение его запасов. Запасы УДГМ, представленные валежом и ветвями разной степени деструкции, в 10 раз превысили свои исходные значения с 1,5 кг/м² (до пожара) до 14,9 кг/м² (через 20 лет после пожара).

Отмеченное выше отмирание сухостоя отразилось и на временной динамике структуры опада (рис. 2). Так, если до пожара его основу составляли хвоя и веточки (около 37 %), то через год после пожара в опаде преобладали хвоя (53,5 %) и шишки (29,3 %), на третий год преобладала кора (53,2 %), на пятый – веточки (51,8 %). Спустя 12 лет,

вследствие полного выпадения сухостоя, в опаде резко увеличилась доля крупных ветвей, коры и валежа.

Послепожарная сукцессия растительности. Как установлено ранее [Иванова, Первозникова, 1996], направленность послепожарного формирования живого напочвенного покрова сосняков главным образом определяется структурной организацией травяно-кустарничкового яруса исходного (допожарного) типа леса, тогда как разнообразие созданных после прохождения пожара пирозологических режимов только корректирует ситуацию.

Исследования показали, что пожар высокой интенсивности уничтожил напочвенный покров полностью в результате огневого и теплового воздействий. Восстановление травяно-кустарничкового яруса наблюдалось на 2–3-й год после пожара путем вегетативного размножения сохранившихся частей растений. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса имело низкие значения (табл. 3). В напочвенном покрове встречались единичные особи *Vaccinium vitis-idaea*, *V. myrtillus*, *Epilobium angustifolium* L. (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.).

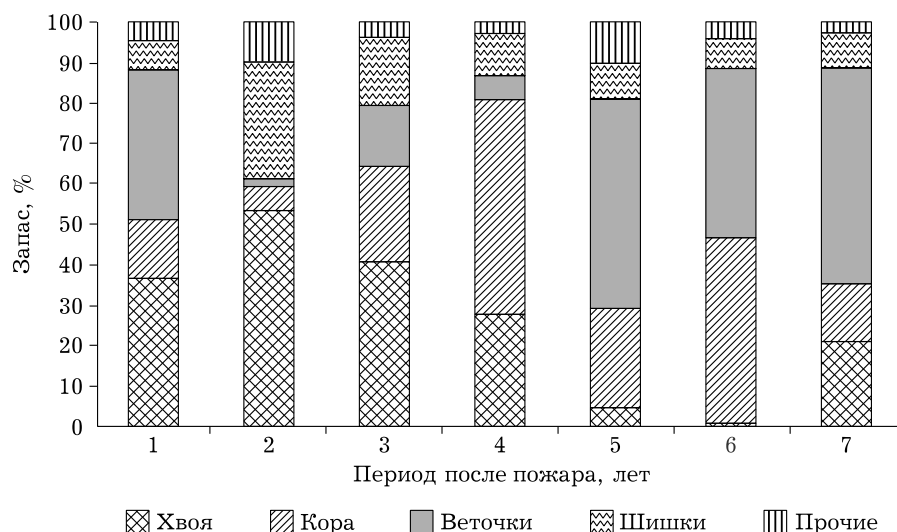


Рис. 2. Структура опада до и после пожара высокой интенсивности в сосняке лишайниковом, %

Т а б л и ц а 3

Видовой состав и проективное покрытие живого напочвенного покрова до и после экспериментального пожара, %

Виды растений	До пожара	Период после пожара, лет				
		2	3	5	12	20
Травяно-кустарничковый ярус	21	3	7	34	30	13
<i>Vaccinium vitis-idaea</i>	10	1	2	2	3	3
<i>V. myrtillus</i>	5	0	1	2	2	2
<i>V. uliginosum</i>	1	0,5	0,5	1	1	1
<i>Ledum palustre</i>	3	0	1	1	2	3
<i>Carex globularis</i>	1	0,5	0,5	3	2	1
<i>Calamagrostis purpurea</i>	1	0	1	10	15	2
<i>Epilobium angustifolium</i>	0	1	1	15	5	1
Лишайники	87	0	0	1	8	36
<i>Cetraria laevigata</i>	3	0	0	0	0	0
<i>Cladonia arbuscula</i>	20	0	0	0	1	3
<i>C. botrytes</i>	0	0	0	0	1	1
<i>C. carneola</i>	0	0	0	0	1	2
<i>C. cenotea</i>	2	0	0	0	1	3
<i>C. coccifera</i>	0	0	0	0	0	1
<i>C. cornuta</i>	3	0	0	0	1	3
<i>C. deformis</i>	2	0	0	0	0	3
<i>C. gracilis</i>	3	0	0	0	0	2
<i>C. fimbriata</i>	0	0	0	0	0	1
<i>C. rangiferina</i>	15	0	0	0	0	5
<i>C. stellaris</i>	30	0	0	0	0	7
<i>C. uncialis</i>	8	0	0	0	0	2
<i>C. verticillata</i>	1	0	0	0	1	1
<i>Trapeliopsis granulosa</i>	0	0	0	1	2	2
Мхи	7	0	0	21	53	33
<i>Pleurozium schreberi</i>	2	0	0	0	0,5	0,5
<i>Dicranum polysetum</i>	1	0	0	0	0,5	0,5
<i>Polytrichum commune</i>	2	0	0	1	1	1
<i>P. strictum</i>	0	0	0	20	50	30
<i>Sphagnum</i> ssp.	2	0	0	0	1	1
Число видов	21	4	7	9	19	26

На 5-й год пирогенной сукцессии проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса оказалось значительно выше допожарного значения. Осветление древесного полога, произошедшее в результате отпада деревьев, привело к увеличению проективного покрытия светолюбивых видов *Calamagrostis purpurea* и *Epilobium angustifolium*. Пирогенно-минерализованные участки, образовавшиеся на месте лишайникового покрова, заселились мхами рода *Polytrichum*. На опавшей коре и обнаженном субстрате встречается накипный лишайник *Trapeliopsis granulosa* (Hoffm.) Lumbsch. Виды рода *Cladonia* представлены первичными слоевищами, которые на данной стадии сукцессии невозможно идентифицировать.

На 12-й год пирогенной сукцессии проективное покрытие *Epilobium angustifolium* снижается, остается высокой доля *Calamagrostis purpurea* (см. табл. 3). Травяно-кустарничковый ярус восстанавливается по склоновой части вблизи болота. В мохово-лишайниковом покрове доминирует *Polytrichum strictum* Menzies ex Brid. (см. табл. 3). Единично встречаются зеленые мхи. Лишайниковый покров представлен видами с шиловидными и бокальчатыми формами слоевищ – *Cladonia cornuta* L. (Hoffm.), *C. deformis* L. (Hoffm.), *C. gracilis* (L.) Willd., *C. cenotea* (Ach.) Shaer.

Через 20 лет после высокоинтенсивного пожара травяно-кустарничковый ярус представлен видами допожарного сообщества, однако его проективное покрытие остается ниже, чем в допожарном фитоценозе. В напочвенном покрове отмечается высокое учас-

тие политриховых мхов с проективным покрытием до 30 %. Мощность мхов варьировала от 1 до 3 см. Проективное покрытие зеленых мхов *Pleurozium schreberi* и *Dicranum polysetum* не превышало 1 %. Общее проективное покрытие лишайникового покрова – 36 %. Проективное покрытие климаксовых видов лишайников, характерных для допожарного фитоценоза (*Cladonia rangiferina*, *C. arbuscula*, *C. stellaris*) составляло 15 %.

Послепожарное лесовозобновление. Стимулирующее влияние пирогенного фактора на лесовозобновительные процессы в лесу известно давно [Бузыкин, Попова, 1978; Санников, 1981, 1992; Санников, Санникова, 1985; Тарасов и др., 2012]. Это связано с тем, что после пожаров часто складываются благоприятные условия для появления и развития молодого поколения древесных растений. Это и уменьшение конкуренции со стороны живого напочвенного покрова, кустарников и деревьев, и улучшение обеспеченности субстрата влагой, теплом и доступными элементами питания.

Анализ допожарного лесовозобновления выявил недостаточное для формирования древостоя количество всходов и подроста, причем большая часть последнего относилась к категории сомнительного (табл. 4). Пожар полностью уничтожил подрост на экспериментальном участке, однако уже на следующий год здесь в небольшом количестве появились всходы сосны. Вероятнее всего, это связано с сильным, местами до минерального слоя, прогоранием подстилки, поскольку наибольшее число всходов в таких лесораститель-

Т а б л и ц а 4

Характеристика естественного возобновления в сосняках до и после пожара

Период после пожара, лет	Встречаемость, %	Обилие, шт./м ²	Породный состав	Количество самосева и подроста		
				% от общего числа		тыс. экз./га
				самосев	подрост	
*	5,0	1,8	5С5К	10	90	1,0
2	22,5	1,3	10С + Ос	100	–	1,8
3	37,7	1,2	9С1Ос + П	100	–	4,5
5	40,0	1,3	10С + Ос ед. П	100	–	5,4
12	56,5	1,4	9С1Ос ед. П, Е	76	24	8,6
20	91,7	1,5	8С2Ос + Е	38	62	13,3

П р и м е ч а н и е. *1993 – год пожара.

Т а б л и ц а 5

Физико-химические показатели почв

Горизонт, глубина, см	рН		Гидролитическая кислотность	Сумма поглощенных оснований	Степень насыщенности основаниями, %
	H ₂ O	КС1			
				м-экв./100 г	
О	4,62	3,70	10,57	3,20	23,2
	4,80	3,88	8,93	3,60	28,7
Е, 0–5	4,65	3,90	1,33	2,67	66,8
	4,61	3,96	1,26	2,71	68,3
Е, 5–10	4,67	4,10	3,27	8,01	71,0
	4,62	4,06	1,99	5,79	74,4
ВФ, 10–20	5,33	4,69	2,44	7,13	74,5
	5,14	4,53	1,92	5,62	74,5
ВФ, 20–30	5,48	4,74	1,61	4,69	74,4
	5,31	4,70	1,73	4,73	73,2
ВФ, 30–40	5,79	4,75	1,55	3,31	68,1
	5,45	4,81	1,43	3,58	71,5

П р и м е ч а н и е. Числитель – гарь, знаменатель – контроль.

ных условиях отмечалось П. А. Цветковым при сохранении ее несгоревшего слоя толщиной в 2,5–4 см [Иванова и др., 2014].

Кроме того, значительная часть появившихся всходов и самосева погибла в первые годы после пожара. По мнению П. А. Тарасова [2011], проводившего исследования в схожих лесорастительных условиях, главной причиной этого оказываются неблагоприятные гидротермические параметры, формирующиеся в почвах пройденных пожарами сосняков, поскольку их агрохимические характеристики не являются лимитирующим экологическим фактором.

Через 12 лет после экспериментального пожара в сосняке физико-химические показатели почвы на пройденном огнем и контрольном участках в целом оказались довольно близки между собой (табл. 5). Можно предположить, что это обусловлено постепенным выщелачиванием из почвы гари поступивших в нее из золы щелочных элементов, а также их участием в нейтрализации органических кислот, количество которых возрастает в результате послепожарного усиления минерализации растительных остатков [Лукина и др., 2008]. Несколько большие различия показал сравнительный анализ агрохимических

Т а б л и ц а 6

Агрохимические показатели почв

Горизонт, глубина, см	Гумус, %	С, %	Азот общий, %	С : N	N-NH ₄ , мг/кг	Подвижные, мг/кг	
						P ₂ O ₅	K ₂ O
О	90,74*	45,37	1,51	30,0	88,4	89,2	628,3
	95,44	47,72	1,01	47,2	186,4	156,4	609,1
Е, 0–5	0,38	0,22	0,020	11,0	0,75	3,9	25,9
	0,33	0,19	0,018	10,6	0,64	18,3	57,4
Е, 5–10	0,45	0,26	0,024	10,8	4,31	87,2	115,6
	0,36	0,21	0,016	17,1	7,92	68,6	91,9
ВФ, 10–20	0,21	0,12	0,014	8,6	6,63	81,9	116,1
	0,23	0,13	0,010	13,0	6,05	69,0	85,1
ВФ, 20–30	0,26	0,15	0,012	12,5	5,18	68,0	85,9
	0,23	0,13	0,011	11,8	5,43	62,1	85,3
ВФ, 30–40	0,20	0,12	0,010	12,0	4,71	56,5	81,7
	0,20	0,12	0,011	10,9	5,12	55,8	76,6

П р и м е ч а н и е. Числитель – гарь, знаменатель – контроль; * – потеря при прокаливании.

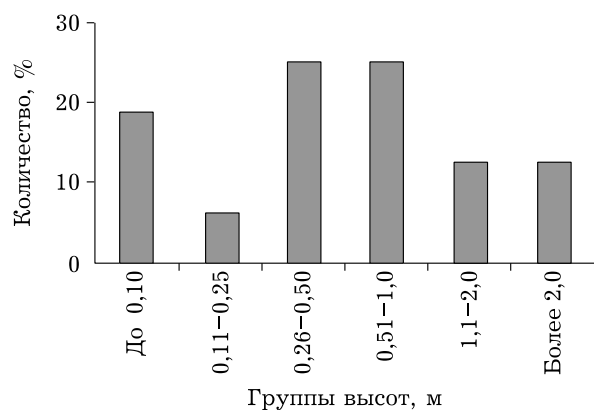


Рис. 3. Распределение подроста по группам высот через 20 лет после экспериментального пожара

показателей (табл. 6). Прежде всего, следует отметить увеличение на 50 % содержания общего азота в подстилке гари, обусловленное активным поступлением в нее послепожарного опада. В то же время, наблюдается снижение в 2 раза по сравнению с контролем содержания аммонийной формы азота.

С одной стороны, это может быть результатом как ослабления процессов аммонифи-

кации вследствие уничтожения огнем значительной части аммонифицирующих бактерий, так и активным потреблением данной формы соединений азота в процессе восстановления микрофлоры и живого напочвенного покрова. Аналогичная картина наблюдается и в содержании подвижного фосфора в подстилке, а также фосфора и калия в верхнем (0–5 см) слое подзолистого горизонта, тогда как далее вниз по профилю данные показатели в почве гари, напротив, несколько выше, чем на контроле (см. табл. 5). Столь неоднозначный характер послепожарного изменения агрохимических показателей объяснить очень трудно, согласно Э. П. Поповой [Горбачев и др., 1982], о нем можно судить только по содержанию доступных форм элементов минерального питания, поскольку обеспеченность ими может быть завуалирована потреблением, особенно в таких бедных почвах, как песчаные подзолы.

Послепожарное возобновление в сосняке происходит без смены пород. Несмотря на гибель части всходов и самосева сосны, численность подроста существенно увеличивается со



Рис. 4. Сосняк лишайниковый: а – во время пожара (1993 г.), б – через 12 лет (2005 г.), в – через 20 лет (2013 г.) после пожара высокой интенсивности

временем (см. табл. 4). При этом, если в первые пять лет после пожара возобновление представлено исключительно самосевом, то через 12 и 20 лет подростом сосны 24 и 62 %, соответственно, произрастающим преимущественно одиночно. Через 20 лет после пожара (в 2013 г.) численность самосева и подроста составляла 13,3 тыс. экз./га. Показатель встречаемости после пожара равен 91,7 %, а обилие – 1,5 экз./м². Преобладает численно подрост высотой от 0,25 до 1,0 м (рис. 3) и возрастом от 8 до 12 лет. Он распределен равномерно и произрастает одиночно (см. рис. 4, б, в). Доминирует благонадежный подрост сосны, индекс жизненного состояния достигает 92 %, что дает основание оценить естественное послепожарное возобновление в сосняке как здоровую ценопопуляцию.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лесные пожары – один из экологических факторов, влияние которого на все компоненты лесного фитоценоза является сложным по своему характеру и различным по степени. Наибольшее воздействие на лесные экосистемы оказывают высокоинтенсивные пожары, в результате которых полностью сгорает живой напочвенный покров и значительная часть напочвенных горючих материалов. Кроме того, они приводят к гибели древостоя, обеспечивая существенное накопление горючих материалов. Через 20 лет запасы напочвенных ЛГМ превышают допожарные значения в 4 раза, что создает условия для возникновения повторного высокоинтенсивного пожара.

Начальный этап послепожарной сукцессии во многом определяется лесорастительными условиями, происходит со сменой травяно-кустарничкового покрова и через 20 лет после пирогенного воздействия представлен видами допожарного сообщества, однако его проективное покрытие остается ниже, чем в допожарном фитоценозе. При этом мохово-лишайниковый покров еще не восстановился.

Выявленные послепожарные изменения основных физико-химических и агрохимических показателей иллювиально-железистого песчаного подзола в сосняке указывают на улучшение обеспеченности субстрата влагой, теплом и доступными элементами питания

для растений и сложившиеся после пожара благоприятные условия для появления и развития естественного возобновления. Послепожарное естественное возобновление в сосняке можно охарактеризовать как достаточное для формирования соснового древостоя.

ЛИТЕРАТУРА

- Алексеев В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
- Углерод в экосистемах лесов и болот России / под ред. В. А. Алексеева, Р. А. Бердси. Красноярск: ИЛ СО РАН, 1994. 170 с.
- Бузыкин А. И., Попова Э. П. Влияние пожаров на лесные фитоценозы и свойства почв // Продуктивность сосновых лесов. М., 1978. С. 5–44.
- Горбачев В. Н., Дмитриенко В. К., Попова Э. П., Сорокин Н. Д. Почвенно-экологические исследования в лесных биогеоценозах. Новосибирск: Наука, Сиб. отд-ние, 1982. 185 с.
- Иванова Г. А., Перевозникова В. Д., Иванов В. А. Трансформация нижних ярусов лесной растительности после низовых пожаров // Лесоведение. 2002. № 2. С. 30–35.
- Иванова Г. А., Перевозникова В. Д. Послепожарное формирование живого напочвенного покрова в сосняках Среднего Приангарья // Сиб. экол. журн. 1996. № 1. С. 109–116 [Ivanova G. A., Perevznikova V. D. Postfire formation of ground vegetation in pine forests of the Average of Angarski Krai // Contemporary Problems of Ecology. 1996. Vol. 3, N 1. P. 109–116].
- Иванова Г. А., Конард С. Г., Макрае Д. Д., Безкорвайная И. Н., Богородская А. В., Жила С. В., Иванов В. А., Иванов А. В., Ковалева Н. М., Краснощечкова Е. Н., Кукавская Е. А., Орешков Д. Н., Перевозникова В. Д., Самсонов Ю. Н., Сорокин Н. Д., Тарасов П. А., Цветков П. А., Шишкин А. С. Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.
- Классификация и диагностика почв России. Смоленск: Ойкумена, 2004. 342 с.
- Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопр. лесной пирологии. Красноярск: ИЛИД, 1970. С. 5–58.
- Куценогий К. П., Валендик Э. Н., Буфетов Н. С., Барышев В. Б. Эмиссии крупного лесного пожара в Сибири // Сиб. экол. журн. 1996. Т. 3, № 1. С. 93–101. [Kutsenogy K. P., Valendik E. N., Buffets N. S., Baryshev V. B. Emission of large wildfire in Siberia // Contemporary Problems of Ecology. 1996. Vol. 3, N 1. P. 93–101].
- Лесной фонд России (по данным государственного учета лесного фонда по состоянию на 1 января 1998 г.): справочник. М.: ВНИИЦлесресурс, 1999. С. 650.
- Лукина Н. В., Полянская Л. М., Орлова М. А. Питательный режим почв северотаежных лесов. М.: Наука, 2008. 342 с.
- Мелехов И. С. Природа леса и лесные пожары. Архангельск: ОГИЗ, 1947. 60 с.
- Побединский А. В. Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 64 с.

- Понятовская В. М. Учет обилия и особенности размещения видов в сообществе // Полевая геоботаника. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 3. С. 209–289.
- Практикум по почвоведению / под ред. И. С. Кауричева. М.: Колос, 1980. 272 с.
- Санников С. Н. Лесные пожары как фактор преобразования структуры, возобновления и эволюции биогеоценозов // Экология. 1981. № 6. С. 24–33.
- Санников С. Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М.: Наука, 1992. 264 с.
- Санников С. Н., Санникова Н. С. Экология естественного возобновления сосны под пологом леса. М.: Наука, 1985. 149 с.
- Список лишенофлоры России / сост. Г. П. Урбанавичюс, отв. ред. М. П. Андреев. СПб.: Наука, 2010. 194 с.
- Сукачев В. Н., Зонн С. В. Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 143 с.
- Тарасов П. А., Иванов В. А., Иванова Г. А., Краснощекова Е. Н. Постпирогенные изменения гидротермических параметров почв среднетаежных сосняков // Почвоведение. 2011. № 7. С. 795–803.
- Тарасов П. А., Иванов В. А., Гайдукова А. Ф. Анализ динамики роста и развития самосева сосны обыкновенной на гари // Хвойные бореальной зоны. Красноярск: СибГТУ, 2012. Т. XXX, № 3-4. С. 284–290.
- Фуряев В. В. Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 251 с.
- Abaimov A. P., Zyryanova O. A., Prokushkin S. G., Koike T., Matsuura Y. Forest Ecosystems of the cryolithic zone of Siberia; regional features, mechanisms of stability and pyrogenic changes // Eurasian Journ. Forest Res. 2000. N 1. P. 1–10.
- Crutzen P. J., Andreae M. O. Biomass burning in the tropics: Impact on atmospheric chemistry and biogeochemical cycles // Science. 1990. N 250. P. 1669–1678.
- Firescan Science Team. Fire in ecosystems of boreal Eurasia: The Bor Forest Island fire experiment, Fire Research Campaign Asia-North (FIRESAN) // Biomass burning and global change / ed. J. S. Levine. Cambridge, MA: MIT Press, 1996. Vol. 11. P. 848–873.
- Flannigan M. D., Krawchuk M. A., de Groot W. J., Wotton B. M., Gowman L. M. Implications of changing climate for global wildland fire // Int. Journ. Wildland Fire. 2009. N 18. P. 483–507.
- Furyaev V. V., Vaganov E. A., Tchebakova N. M., Valendik E. N. Effects of fire and climate on successions and structural changes in the Siberian boreal forest // Eurasian Journ. Forest Sci. 2001. N 2. P. 1–15.
- Ivanova G. A., Conard S. G., Kukavskaya E. A., McRae D. J. Fire impact on carbon storage in light conifer forests of the Lower Angara region, Siberia // Environ. Res. Lett. 2011. N 6. P. 6.
- Korovin G. N. Analysis of the Distribution of Forest Fires in Russia // Fire in Ecosystems of Boreal Eurasia. Dordrecht; Boston; London: Kluwer Academic Publishers, 1996. P. 112–128.
- Kukavskaya E. A., Ivanova G. A., Conard S. G., McRae D. J., Ivanov V. A. Biomass dynamics of central Siberian Scots pine forests following surface fires of varying severity // Int. Journ. Wildland Fire. 2014. Vol. 23, N 6. P. 872–876.
- The Plant List. <http://www.theplantlist.org>.
- Soja A. J., Sukhinin A. I., Cahoon D. R. Jr., Shugart H. H., Stackhouse P. W. Jr. AVHRR-derived fire frequency, distribution and area burned in Siberia // Int. Journ. Remote Sensing. 2004. Vol. 25, N 10. P. 1939–1960.
- Valendik E. N., Goldammer J. G., Kisilyakhov Y. K., Ivanova G. A., Verkhovets S. V., Bryukhanov A. V., Kosov I. V., Byambasuren O., Firescan Science Team. Prescribed burning in Russia and neighbouring temperate-boreal Eurasia / ed. J. G. Goldammer. Kessel Publishing House, 2013. 324 p.
- Van Wagner C. E. The line intersect method in forest fuel sampling // Forest Sci. 1968. Vol. 14. P. 20–26.

Succession of Vegetation after the High Intensity Fire in a Pine Forest with Lichens

G. A. IVANOVA¹, V. A. IVANOV², N. M. KOVALEVA¹, S. G. CONARD³,
S. V. ZHILA¹, P. A. TARASOV²

¹ V. N. Sukachev Institute of Forest, SB RAS
660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28

² Siberian State Technological University
60049, Krasnoyarsk, Mira ave., 82

³ US Forest Service, Rocky Mountain Research Station
5775 W US Highway 10, Missoula, MT, 59808, USA

The impact of experimental high intensity fire on components of an ecosystem and post fire succession was studied in middle taiga of pine forest over 20 years. About 44 % of forest fuel loads burned down during the fire. The emission of carbon was about 18 t C/he. The trees died for the first three years after the fire and there was essential accumulation of fuel loads. Twenty years later the fuel loads exceeded that before the fire by four times, which opened up possibilities for repeat high-intensity fires. The initial stage of post fire succession is specified by forest growth conditions and occurs with change of dominants of herbaceous-dwarf shrub cover in the pine forest. The agrochemical and hydro-thermal soil indicators changed after fire, which promoted natural regeneration of pine trees enough for formation of forest stand.

Key words: forest fire, succession, pine stand, reforestation, fuel loads.