

УДК 630*439(571.51/.52)

ПОСТПИРОГЕННАЯ ТРАНСФОРМАЦИЯ ОСНОВНЫХ КОМПОНЕНТОВ СОСНЯКОВ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Г. А. Иванова¹, С. В. Жила¹, В. А. Иванов², Н. М. Ковалева¹, Е. А. Кукавская¹

¹ Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

² Сибирский государственный университет науки и технологий им. акад. М. Ф. Решетнева 660049, Красноярск, просп. Мира, 82

E-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru, new_science@bk.ru, ivanovv53@yandex.ru, nk-75@mail.ru, kukavskaya@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 20.11.2017 г.

На основе впервые проведенных на территории Сибири в 2000–2003 гг. экспериментов по моделированию лесных пожаров дана оценка и осуществлен мониторинг воздействия пожаров разной интенсивности на компоненты сосновых насаждений и послепожарную сукцессию. Особенно значительная постпирогенная трансформация всех компонентов в сосняках выявлена после пожаров высокой интенсивности. Выявлена зависимость отпада деревьев в древостое от интенсивности пожара. Приведена оценка начального периода послепожарной сукцессии, изменения видового состава и структуры травяно-кустарничкового яруса, восстановления древесного яруса. Установлена зависимость количества сгоревшей фитомассы от интенсивности горения. Надземная фитомасса снизилась на 5–10 % после низкоинтенсивных и на 74 % – после высокоинтенсивных пожаров. Наибольшее накопление напочвенной фитомассы происходит в первые годы после пожара, что связано с интенсивным отмиранием деревьев в этот период. В результате отпада деревьев мортмасса (подстилки, сучьев и валежа) увеличилась после пожара высокой интенсивности в 2 раза и более. После пожаров происходит перераспределение фитомассы растительности в мортмассу, особенно резко выраженное после высокоинтенсивных пожаров. Выявлена зависимость накопления фитомассы от интенсивности пожара и времени после пирогенного воздействия для южно- и среднетаежных сосняков. Проведенные исследования позволяют на основе данных о допозарном состоянии сосняков и интенсивности пирогенного воздействия прогнозировать степень воздействия пожаров разной интенсивности на компоненты насаждения, послепожарную сукцессию и лесовозобновление сосняков Сибири.

Ключевые слова: лесные пожары, сосняки, компоненты насаждения, фитомасса, послепожарная сукцессия, Средняя Сибирь.

DOI: 10.15372/SJFS20180304

ВВЕДЕНИЕ

Лесные пожары являются экологическим фактором формирования растительности и среды ее обитания (Мелехов, 1947; Побединский, 1965; Санников, 1992; Agee, 1993; Lea, Morgan, 1993; Turner et al., 1994; Lenihan et al., 1998). Сосновые леса существуют в режиме постоянно действующих пожаров с периодичностью, определяемой их широтным местонахождением и изолированностью ландшафтов. В Средней Сибири межпожарный интервал в средне- и южно-

таежных сосняках варьирует от 25 до 40 лет (Ваганов, Арбатская, 1996; Иванова, Иванов, 2015).

Отклик экосистемы на воздействие пожаров проявляется по-разному и зависит от вида и интенсивности пожара, климатических особенностей региона, строения древостоя, структуры нижних ярусов растительности и ряда других факторов (Reinhardt et al., 2001; Kukavskaya et al., 2014; Ivanova et al., 2017).

В настоящее время существует целый ряд различных моделей для описания последствий воздействия пожаров на компоненты экосисте-

мы в основном североамериканских лесов (Ryan, Reinhardt, 1988; Keane et al., 1989, 1998; Robichaud et al., 2000; Reinhardt et al., 2001). Для российских лесов разработаны модели отпада деревьев (Войнов, Софронов, 1976; Шешуков, 1988) и описаны стадии послепожарного лесовосстановления (Фуряев, Киреев, 1979; Попов, 1982).

При оценке воздействия пожаров на компоненты экосистемы выделяют кратко- и долгосрочные последствия. Краткосрочные последствия пожаров возникают во время горения или сразу после него как результат непосредственного теплового воздействия процесса горения на компоненты лесных экосистем. К ним относятся сгорание лесных горючих материалов (ЛГМ), или фитомассы, нагрев почвы, ожоги или гибель растений и животных, почвенной флоры и фауны. Долгосрочные последствия воздействия пожаров – это явления, возникающие после пожара в течение более длительного периода (дни, месяцы, годы). К ним относятся постпирогенная трансформация почвы, почвенной фауны и флоры, отпад деревьев, накопление фитомассы, послепожарная сукцессия растительности.

Краткосрочные последствия пожаров определяются метеоусловиями, предшествующими горению и влияющими на высыхание ЛГМ, и процессом горения. Количество сгоревшей фитомассы – это одно из важных краткосрочных последствий, определяющих ряд последующих явлений. При горении фитомассы выделяется тепло, воздействующее на деревья, напочвенный покров и почву, и чем больше сгорает фитомассы, тем более сильное воздействие оказывается на компоненты насаждения. Воздействие огня на компоненты экосистемы во время пожара предопределяет и долгосрочные последствия. На степень повреждения древостоя при горении и последующий отпад деревьев оказывает влияние множество экологических, орографических и климатических факторов (Мелехов, 1948; Молчанов, 1954; Софронов, 1967; Войнов, Софронов, 1976; Демаков и др., 1982; Шешуков, 1988; Евдокименко, 1989; Фуряев и др., 2005; Матвеев, 2006).

Исследователи неоднократно отмечали высокую устойчивость сосны к воздействию пожара (Мелехов, 1948; Балбышев, 1963; Санников, 1992; Санников и др., 2008; Гордей и др., 2012). По их мнению, успешное выживание сосны после пожаров обеспечивается морфологическими и физиологическими особенностями этой породы, способностью к заживлению пожарных

ран и к длительному сохранению жизнедеятельности, а также возможностью непрерывного самовосстановления и длительного устойчивого существования сосны в условиях постоянного воздействия циклических пожаров.

Вполне понятно, что естественные лесные пожары, возникающие от неустановленных источников возгорания и стихийно распространяющиеся по территории, не могут служить основой для моделирования постпирогенного сукцессионного процесса. Параметры их неизвестны, об их интенсивности можно судить лишь по косвенным показателям. Экологические последствия таких пожаров трудносопоставимы с параметрами огневого воздействия и также классифицируются по косвенным показателям. В этом случае необходимые сведения можно получить только экспериментально при моделировании пожаров с измеряемыми характеристиками поведения огня и последующего мониторинга послепожарной сукцессии.

В 2000–2003 гг. в рамках совместного российско-американского проекта, поддержанного РФФИ и НАСА, в средне- и южно-таежных сосняках Сибири впервые проведена серия крупномасштабных экспериментов по моделированию поведения пожаров разной интенсивности, позволивших получить характеристики состояния сосняков до пожара, параметры поведения пожара (что в отличие от наблюдений на горяч и пожарищах дает возможность точной оценки глубины прогорания, количества сгоревших материалов, допозарного количества фитомассы и структуры живого напочвенного покрова), а также провести длительный мониторинг последующих изменений основных компонентов насаждений.

Цель исследований – оценка воздействия пожаров с известными параметрами на основные компоненты насаждений сосняков средней и южной тайги.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследования проведены на территории Красноярского края в средне- и южно-таежных сосняках. В подзоне средней тайги экспериментальные участки расположены в бассейне рек Дубчес и Сым, притоках р. Енисей на Сымской равнине Западно-Сибирской низменности в среднем течении р. Тугулан (60°38' с. ш., 89°41' в. д.) в Нижне-Енисейском лесничестве (участки № 1–9). В подзоне южной тайги экспериментальные участки заложены в Нижнем

Приангарье в бассейне р. Ангара в Невонском (58°35' с. ш., 98°55' в. д.) (участки № 10, 11) и Хребтовском (58°42' с. ш., 98°25' в. д.) (участки № 12, 13) лесничествах.

Сосняки на экспериментальных участках № 1–11 относятся к кустарничково-лишайниково-зеленомошному типу леса, а на участках № 12–13 – к бруснично-зеленомошному. Древоостои одноярусные, чистые сосновые, лишь на участках № 12, 13 в составе встречается лиственница сибирская *Larix sibirica* Ledeb. На участках № 1–9 в результате пожаров сформировались разновозрастные древоостои, в которых преобладают деревья 80–100 лет, но встречаются когорты деревьев более старшего возраста. Древоостои на участках № 1–9 относятся к IV классу бонитета, средний диаметр варьирует от 26 до 32 см, средняя высота – от 17 до 20 м, а на участках № 10–13 относятся к III классу бонитета, средний диаметр – от 23 до 28 см, средняя высота – от 18 до 23 м.

Все насаждения на участках неоднократно пройдены лесными пожарами. В среднетаежных сосняках (участки № 1–9) на основе дендрохронологического анализа нами выявлено за 450-летний период 14 пожаров (в 1599, 1661, 1701, 1722, 1737, 1744, 1779, 1808, 1813, 1860, 1869, 1912, 1919 и 1956 гг.). Средний межпожарный интервал составил 29 лет. В южно-таежных сосняках на участках № 10–11 отмечено 5 пожаров (в 1788, 1824, 1861, 1875, 1922 гг.), а на участках № 12–13 – 20 (в 1612, 1639, 1656, 1672, 1709, 1716, 1730, 1752, 1760, 1774, 1798, 1832, 1848, 1866, 1882, 1910, 1921, 1941, 1948, 1998 гг.). Средний межпожарный интервал составил 21 год.

До моделирования пожаров на каждом экспериментальном участке (площадью 4 га) размечали сеть базовых точек на расстоянии 25 м одна от другой с целью дальнейшей привязки пробных площадок и получения целостного профиля различных слоев данных. В результате получили базовую сетку из 49 точек, расположение каждой из которых фиксировалось в пространстве, что позволило сопоставить данные при проведении слепожарного мониторинга.

При оценке структуры и запасов напочвенных ЛГМ использовали методики Н. П. Курбатского (1970) и Д. Дж. Макрея с соавт. (McRae et al., 1979). Для этого на 25 площадках размером 20 × 25 см, заложенных в точках базовой сетки экспериментального участка, отбирали горизонтальными слоями (по 2 см) мхи, лишайники и подстилку до минерального слоя почвы. Опре-

деление запасов упавших древесных ЛГМ, т. е. упавших веток и валежа, проводили методом пересеченных линий (Van Wagner, 1968; Brown, 1971; McRae et al., 1979).

Оценка отпада деревьев проводилась по методике, в основу которой положен метод квадратов, исходящих из одной центральной точки (Cottam, Curtis, 1956). При этом методе в точках базовой сетки отбирали по четыре ближайших дерева (по одному в каждом квадрате). Всего оценивали состояние не менее 100 деревьев диаметром 10 см и более на каждом участке. У каждого выбранного дерева до пожара измеряли высоту, диаметр ствола на высоте 1.3 м от основания, высоту до живой части кроны, а также степень заселения насекомыми. После пожара оценивали состояние кроны, образование пожарной подсушины, обгорание корневых лап, высоту нагара и степень заселения насекомыми. Отпад оценивали по количеству погибших деревьев в процентах от их общего числа до пожара. Фитомассу древоостоя определяли методом перечислительной таксации и взятия модельных деревьев. Всего было взято более 30 модельных деревьев, относящихся к разным ступеням толщины.

Эксперименты по моделированию поведения пожара представляли собой контролируемые выжигания, при которых зажигание проводили по направлению ветра от одной из сторон участка. При этом моделировали распространение фронтальной кромки пожара. Все сосняки на экспериментальных участках были пройдены низовыми пожарами. На участке 11 наблюдался переход огня в кроны деревьев. Пожары с интенсивностью до 2000 кВт/м относят к низкоинтенсивным, от 2001 до 4000 кВт/м – к среднеинтенсивным и более 4000 кВт/м – к высокоинтенсивным (McRae et al., 2006). Пожары высокой интенсивности развились на участках № 6 и 11, средней – на участках № 1, 4, 8, 10, низкой – на участках № 2, 3, 5, 7, 9, 12 и 13.

После пожаров в сосняках на экспериментальных участках ежегодно проводили наблюдения за состоянием компонентов насаждения, изменением их фитомассы и слепожарной сукцессией.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Исследования воздействия пожаров с известными параметрами на компоненты соснового насаждения включали в себя оценку краткосрочных изменений, возникающих в процессе

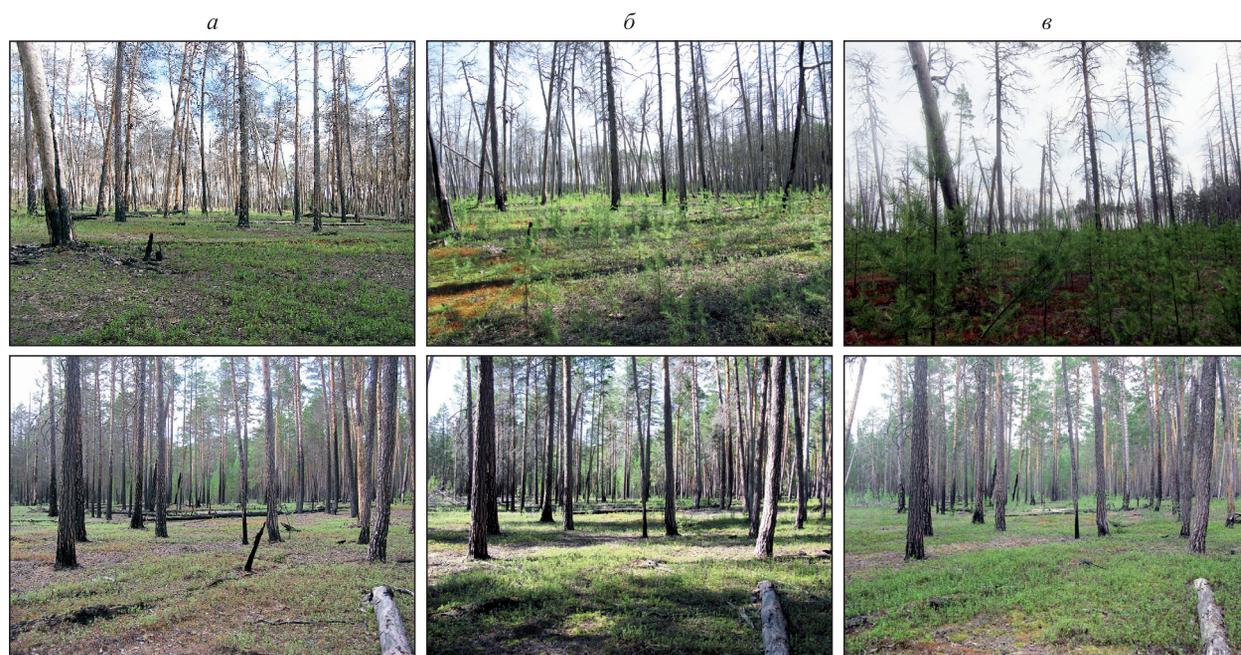


Рис. 1. Послепожарная сукцессия в среднетаежном сосняке кустарничково-лишайниково-зеленомошном после низовых пожаров высокой (5611 кВт/м, верхний ряд) и низкой (1067 кВт/м, нижний ряд) интенсивности через 3 (а), 8 (б) и 14 (в) лет.

горения, и мониторинг изменений, появляющихся через длительный промежуток времени. Из краткосрочных изменений рассматривали сгорание фитомассы, длительность воздействия высоких температур на деревья, объем дымовой эмиссии, а из долгосрочных – отпад деревьев, накопление фитомассы, послепожарную сукцессию растительности (рис. 1).

В насаждениях на экспериментальных участках сгоревшие при пожаре ЛГМ составили от 17.6 до 74.1 % от напочвенной фитомассы до пожара в зависимости от интенсивности горения (табл. 1).

Подстилка сохранилась лишь частично. Всего сгорело от 1 до 3 кг/м² фитомассы. Максимально количество напочвенной фитомассы

Таблица 1. Полнота сгорания лесных горючих материалов (доля от фитомассы до пожара, %)

Интенсивность пожара	№ участка	Глубина прогорания, см	Травы и кустарнички	Упавшие древесные материалы (УДГМ)	Опад	Мхи, лишайники, подстилка	Всего сгорело фитомассы	
							кг/м ²	%
<i>Среднетаежные сосняки</i>								
Низкая	2	3.3	100	3.1	100	16.6	0.96	17.6
	3	3.9	100	30.8	100	32.5	1.42	34.3
	5	4.7	100	23.7	100	47.4	2.10	43.1
	7	3.5	100	6.3	100	26.3	1.08	26.1
	9	4.2	100	30.4	100	28.0	1.60	34.0
Средняя	1	4.4	100	2.6	100	24.7	1.35	21.7
	4	4.0	100	13.0	100	27.1	1.29	29.2
	8	4.1	100	30.1	100	25.3	1.36	28.8
Высокая	6	6.4	100	45.7	100	80.8	3.07	74.1
<i>Южно-таежные сосняки</i>								
Низкая	12	3.3	100	31.4	100	42.3	1.63	42.3
	13	3.0	100	49.1	100	21.6	1.13	34.6
Средняя	10	5.6	100	33.0	100	32.7	1.92	44.1
Высокая	11	6.6	100	26.6	100	46.5	3.14	47.8

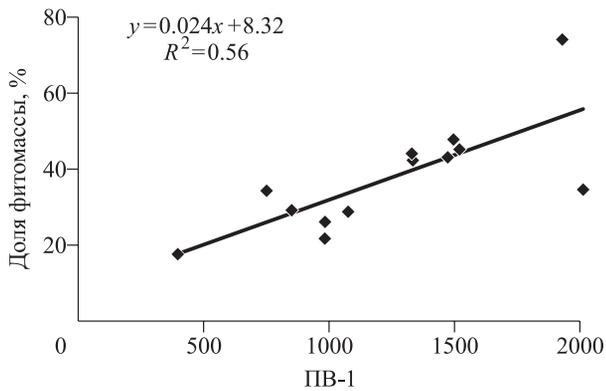


Рис. 2. Связь доли сгоревшей фитомассы (от фитомассы до пожара, %) с величиной показателя ПВ-1.

уменьшилось на 74 % от допожарного значения (участок № 6) после пожара высокой интенсивности.

Количество сгоревшей фитомассы тесно связано с предшествующими погодными условиями (коэффициент корреляции 0.75), характеризуемым показателем влажности ПВ-1, предложенным С. М. Вонским с соавторами (1975) для оценки пожарной опасности в лесу по погоде, при расчете которого использованы данные об осадках, температуре воздуха и точки росы (рис. 2).

Температура при сгорании ЛГМ на поверхности подстилки варьировала от 650 до 1010 °С. Температура на поверхности коры ствола в комлевой части дерева достигала 627–732 °С. Температура под корой дерева в зоне камбия и флоэмы при прохождении кромки огня поднималась от 294 до 486 °С в течение 3–4 мин. После прохождения кромки огня снижение температуры до 50 °С продолжалось в течение 5–6 мин. Таким образом, живые ткани ствола подвергались воздействию температуры свыше 50 °С более 8–10 мин. При температуре 50 °С и выше под корой происходит гибель клеток камбия и флоэмы (Гирс, 1977). При сильном термическом повреждении камбия происходит отмирание дерева. Во время пожара гибель дерева происходит в основном при повреждении огнем хвои крон и обгорании поверхностных корневых лап.

При низовых пожарах до 80 % тепла поступает с нагретыми газами в кроны деревьев (Амосов, 1958; Белов, 1982). В наших исследованиях при среднеинтенсивном пожаре опал кроны зафиксирован у 25 % деревьев в древостое на участке № 10 и более чем у 75 % на участке № 11 при переброске огня в полог древостоя во время пожара высокой интенсивности.

При термическом повреждении камбия ствола и корней деревьев происходит ослабление жизненного состояния деревьев и создаются условия для заселения их насекомыми (Орешков, Шишкин, 2003). Выявлена зависимость количества отпавших деревьев от высоты нагара и степени пораженности энтомофитов (Conard et al., 2004). Таким образом, усыхание деревьев происходит не только вследствие непосредственного термического воздействия на деревья, но и последующего ослабления их жизненного состояния.

После высокоинтенсивных пожаров отпад деревьев происходит в течение первых двух-трех лет после пожара (87–92% от всех отпавших деревьев за период наблюдения). После средне- и низкоинтенсивных он более растянут по времени, но основная часть отпада (до 70–75 % от всех отпавших деревьев за период наблюдения) также приходится на первые годы после пирогенного воздействия (табл. 2).

Выявлена зависимость доли отпавших деревьев (от допожарного их количества, %) от интенсивности горения (коэффициент корреляции 0.88) (рис. 3).

Повреждение и отпад деревьев диаметром менее 8 см после низкоинтенсивных пожаров были незначительны (5–10 % от их общего количества) и достигали 100 % после высокоинтенсивных. Подрост сосны в куртинах также был поврежден при горении, доля погибших экземпляров варьировала от 40 до 100 % от их общего числа в зависимости от интенсивности горения. Подрост высотой менее 1 м погиб полностью во время пожара.

Проведенные ранее исследования (Иванова, Перевозникова, 1996) показали, что к наиболее четко проявляющемуся и выраженному индикатору послепожарных изменений относится растительность нижних ярусов, которая сама является динамичным компонентом лесных экосистем, чутко реагирующим на все изменения среды. Степень повреждения травяно-кустарничкового яруса при горении определяет его послепожарное видовое разнообразие и структуру (Kovaleva, Ivanova, 2013).

Независимо от интенсивности горения лишайниково-моховой покров на всех участках после пожара погиб или деградировал. В сосняках на экспериментальных участках, пройденных пожарами средней и низкой интенсивности, растительные микрогруппировки сохранились в прежних границах. В сосняках на участках, пройденных высокоинтенсивным пожаром, гра-

Таблица 2. Динамика отпада деревьев в сосняках после пожаров разной интенсивности (доля от количества деревьев до пожара, %)

Интенсивность пожара	Участок	Период после пожара, лет						
		1	2	3	4	5	8	13–14
<i>Среднетаежные сосняки</i>								
Низкая	2	3.2	3.2	4.3	5.3	–	5.3	5.3
	3	2.4	5.9	8.2	–	10.6	–	11.8
	5	2.4	4.8	4.8	4.8	4.8	4.8	10.7
	7	4.0	5.0	5.0	6.0	–	10.0	11.0
	9	0	1.0	1.0	–	2.0	–	3.0
Средняя	1	4.2	5.2	7.3	7.3	–	8.3	10.4
	4	12.2	14.3	14.3	14.3	14.3	16.3	19.4
	8	5.1	6.1	8.1	–	8.1	–	12.1
Высокая	6	82.1	86.9	88.1	89.3	89.3	89.3	89.3
<i>Южно-таежные сосняки</i>								
Низкая	12	3.3	5.4	5.4	7.6	8.7	9.8	9.8
	13	3.2	4.2	6.4	6.4	6.4	6.4	6.4
Средняя	10	11.8	16.1	16.1	16.1	16.1	17.2	18.3
Высокая	11	61.8	70.1	70.1	70.1	70.1	71.1	71.1

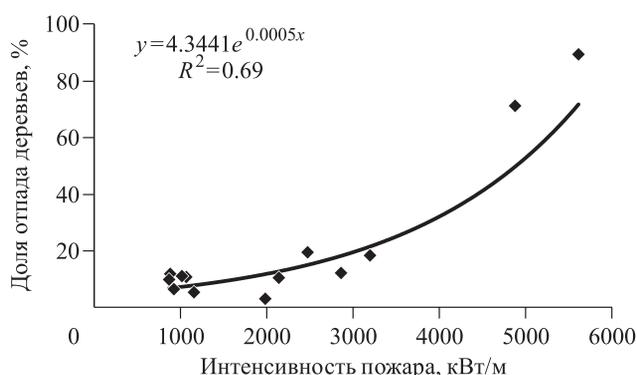


Рис. 3. Зависимость доли отпавших деревьев в сосняках (от допожарного их количества, %) от интенсивности горения.

ницы допожарных растительных микрогруппировок были уничтожены (рис. 4).

Восстановление травяно-кустарничкового яруса путем вегетативного размножения наблюдалось уже на следующий год после пожара. На месте допожарных бруснично-лишайниковой и бруснично-зеленомошной микрогруппировок сформировалась брусничная при глубине прогорания подстилки до 4 см. Места с глубиной прогорания лесной подстилки более 4 см заселили политриховые мхи *Polytrichum commune* Hedw. и *P. strictum* Menzies ex Brid. После высокоинтенсивных пожаров появились микрогруппировки с *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *C. epigeios* (L.) Roth, *Epilobium angustifolium* L. (*Chamaenerion angustifolium* (L.) Scop.), *Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt. Формирова-

нию растительных микрогруппировок со светолюбивыми видами растений способствовало разреживание древесного полога вследствие отмирания деревьев.

Для южно-таежных сосняков кустарничково-лишайниково-зеленомошных характерно большее видовое разнообразие травяно-кустарничкового яруса, но меньшее – мохово-лишайникового покрова по сравнению со среднетаежными сосняками. И хотя процесс послепожарного восстановления напочвенной растительности проходит одинаково в этих зонах, тем не менее большее видовое разнообразие сохраняется в южно-таежных сосняках.

Сформировавшаяся в первые годы после высокоинтенсивного пожара мозаичная структура травяно-кустарничкового яруса сохранилась и через 10 лет (см. рис. 4). Проективное покрытие *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt. и *Dicranum polysetum* Sw. не превышало 6 %. Лишайниковый покров представлен видами, характерными для данной стадии сукцессии: *Cladonia botrytis* (K. G. Hagen) Willd., *Cladonia cornuta* L. (Hoffm.), *C. gracilis* (L.) Willd., проективное покрытие которых не превышало 4 %.

Стимулирующее влияние пожаров на возобновительные процессы в лесу известно давно (Санников, 1973, 1992; Евдокименко, 1979; Попова, 1980; Безкоровая и др., 2005). Оно происходит благодаря сгоранию верхнего слоя подстилки, мхов, кустарничков и трав и обогащению за счет этого почвы микроэлементами.

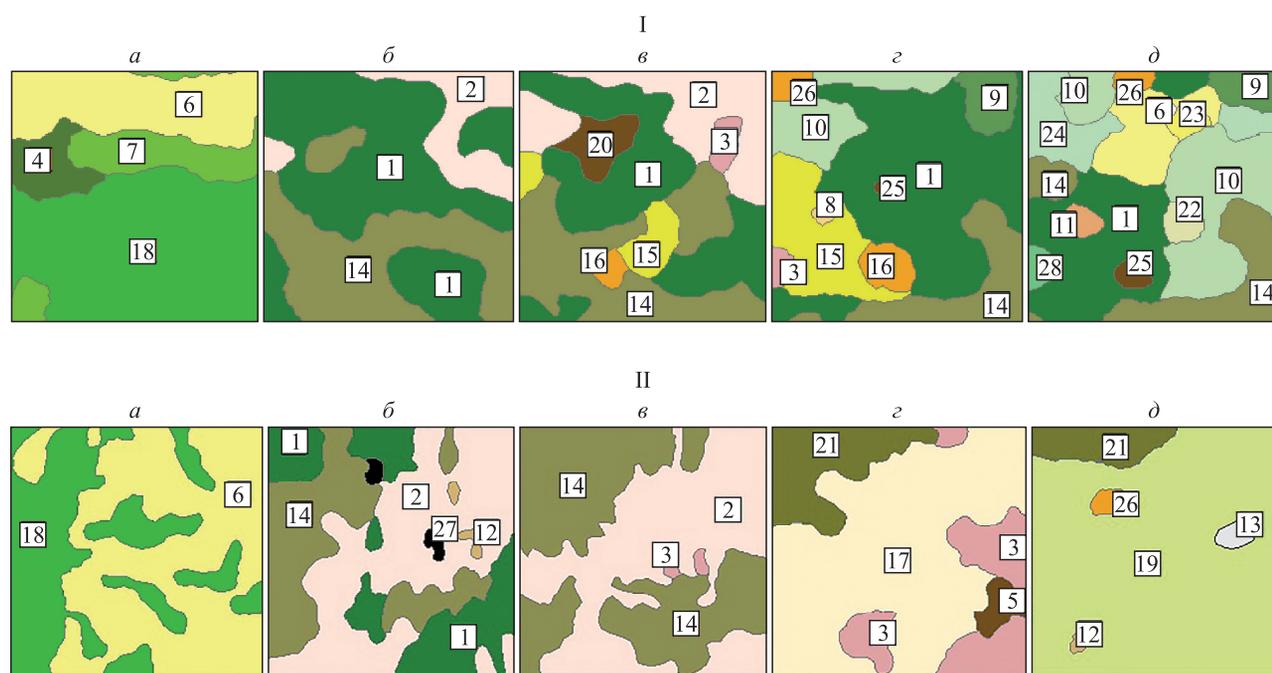


Рис. 4. Изменение структуры живого напочвенного покрова после пожаров высокой интенсивности в сосняках кустарничково-лишайниково-зеленомошных южной (I) и средней (II) тайги. *Микрогруппировки:* 1 – брусничная; 2 – бруснично-вейниковая; 3 – бруснично-вейниково-политриховая; 4 – бруснично-зеленомошная; 5 – бруснично-кипрейная; 6 – бруснично-лишайниковая; 7 – бруснично-лишайниково-зеленомошная; 8 – бруснично-майниковая; 9 – бруснично-плауново-политриховая; 10 – бруснично-политриховая; 11 – бруснично-разнотравная; 12 – вейниковая; 13 – вейниково-лишайниково-политриховая; 14 – кустарничковая; 15 – кустарничково-вейниковая; 16 – кустарничково-вейниково-кипрейная; 17 – кустарничково-вейниково-политриховая; 18 – кустарничково-зеленомошная; 19 – кустарничково-лишайниково-политриховая; 20 – кустарничково-майниковая; 21 – кустарничково-политриховая; 22 – кустарничково-разнотравная; 23 – лишайниковая; 24 – лишайниково-политриховая; 25 – майниковая; 26 – политриховая; 27 – пирогенно-минерализованный участок; 28 – разнотравно-политриховая. I (а – до пожара; б – через 3 года; в – через 7 лет; г – через 9 лет; д – через 13 лет после пожара); II (а – до пожара; б – через 3 года; в – через 5 лет; г – через 8 лет; д – через 14 лет после пожара).

При высокоинтенсивных пожарах в сосняках подрост погиб полностью, однако уже на следующий год появились массовые всходы (до 180 тыс. экз./га), хотя в последующие годы более 90 % из них погибло. Причиной гибели всходов, по мнению исследователей (Санников и др., 2008; Tarasov et al., 2011), являются изменившийся температурный режим, когда дневные температуры на поверхности почвы достигали 50 °С, и недостаточность почвенной влаги. Массовая гибель всходов, по мнению П. А. Цветкова (Воздействие..., 2014), может быть обусловлена конкуренцией как между всходами, так и с сохранившимся древостоем, кустарничками и травами, а также уничтожением их мышевидными грызунами. Но главной причиной снижения жизнеспособности возобновления считается его зараженность фитопатогенами.

Несмотря на это, через 12–14 лет число подроста варьировало от 3 до 8 тыс. экз./га после средне- и низкоинтенсивных пожаров и от 15

до 20 тыс. экз./га – после высокоинтенсивных. Послепожарное возобновление происходит без смены пород – сосной с примесью кедра и пихты. Жизненное состояние хорошее. Таким образом, начальный этап послепожарного лесовосстановительного процесса в сосновых насаждениях можно признать удовлетворительным.

Послепожарный мониторинг выявил изменение количества и структуры фитомассы компонентов сосняков. В результате сгорания количество напочвенной фитомассы уменьшилось (см. табл. 1), но отмирание деревьев способствовало ее последующему накоплению. Интенсивность горения оказывает влияние не только на величину отпада, но и на фитомассу древесного опада, поступающего на поверхность почвы. Тесная связь древесного опада с интенсивностью пожара (коэфф. корреляции 0.94) установлена нами ранее (Kukavskaya et al., 2014).

После пожара изменился состав опада. До пожара все фракции в фитомассе опада были

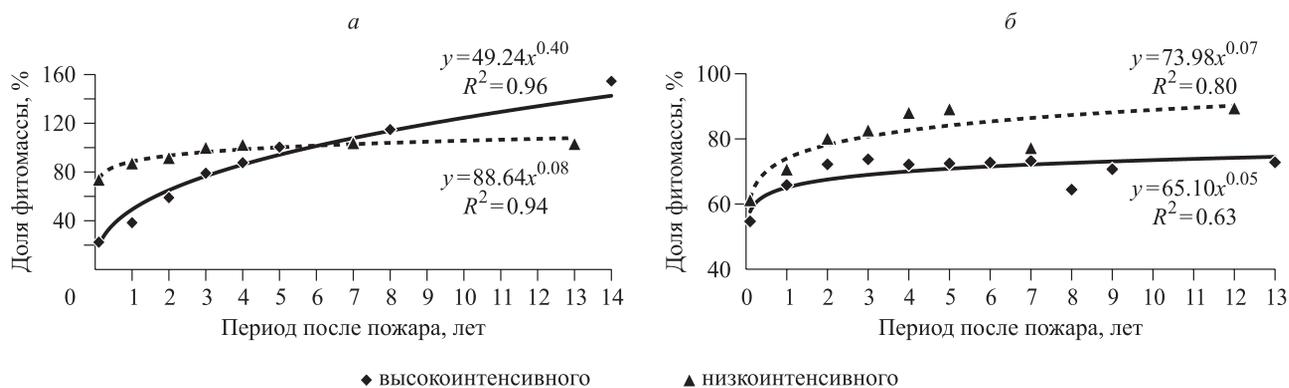


Рис. 5. Динамика напочвенной фитомассы после пожаров низкой и высокой интенсивности в среднетаежных (а) и южно-таежных (б) сосняках (доля от допожарного значения, %).

представлены равномерно, а через 2 года после него в его составе увеличилось количество хвои (до 84 %). Это подтверждают выводы в работах (Евдокименко, 1983; Горшков и др., 2005) о послепожарном увеличении доли хвои. В последующий период происходили отмирание и отпад коры с усыхающих деревьев и увеличение ее доли до 40 % в фитомассе опада.

Послепожарное отмирание деревьев обусловило также увеличение количества ветвей и валежа. Через 12 лет вследствие вывала сухостоя увеличилось количество валежа в 2 раза (по сравнению с допожарным) на участке № 11 в южно-таежном сосняке и в 4 раза на участке № 6 в среднетаежном после высокоинтенсивного пожара.

Деструкция вновь поступившего опада и валежа и образование подстилки происходят за счет физического разрушения, обусловленного резким перепадом дневных и ночных температур на поверхности почвы, и активизации процессов разложения (Попова, 1980; Горбачев и др., 1982; Горшков и др., 2005; Безкоровая и др., 2005).

Послепожарная структура и темпы накопления напочвенной фитомассы зависят от интенсивности пожара и давности его воздействия (рис. 5). Так, ее количество снизилось сразу после пожара в зависимости от интенсивности горения от 17.6 до 74.1 % относительно допожарного значения (см. табл. 1).

После пожаров и высокой, и низкой интенсивности накопление напочвенной фитомассы проходило наиболее интенсивно в первые годы. Спустя 5 лет после высокоинтенсивного пожара ее количество достигло допожарного значения в среднетаежном сосняке (участок № 6) и в дальнейшем ее накопление продолжилось за

счет вывала сухостоя и разрастания напочвенной растительности (см. рис. 5, а).

В южно-таежном сосняке (участок № 11) после высокоинтенсивного пожара напочвенная фитомасса достигла своего максимального значения (74 % от допожарного уровня) через 3 года (см. рис. 5, б). К этому времени отпад деревьев прекратился и количество опада значительно уменьшилось. В связи с тем что в южно-таежной зоне деревья в состоянии сухостоя сохраняются в течение многих лет и не вываливаются, накопление фитомассы замедлилось и регулировалось лишь разложением мортмассы и разрастанием растительности. Через 5 лет после пожаров низкой интенсивности напочвенная фитомасса достигла допожарного значения в среднетаежных сосняках (на участке № 7), а в южно-таежных (участок № 13) и через 12 лет ее доля составляла лишь 90 % от допожарной.

Фитомасса кустарничков и трав за рассматриваемый послепожарный период достигла допожарного уровня не на всех участках.

Изменения структуры и количества надземной фитомассы, включающей кроме напочвенного покрова древостой и подрост, особенно контрастны после высокоинтенсивного пожара (рис. 6).

Фитомасса растительности в сосняках уменьшилась, а мортмасса увеличилась, т. е. после пожаров в сосняках наблюдается перераспределение фитомассы растительности в мортмассу, накопление которой произошло в результате послепожарного отмирания деревьев и их деструкции (рис. 7).

За 12-летний послепожарный период количество надземной фитомассы не достигло допожарного значения ни на одном участке.

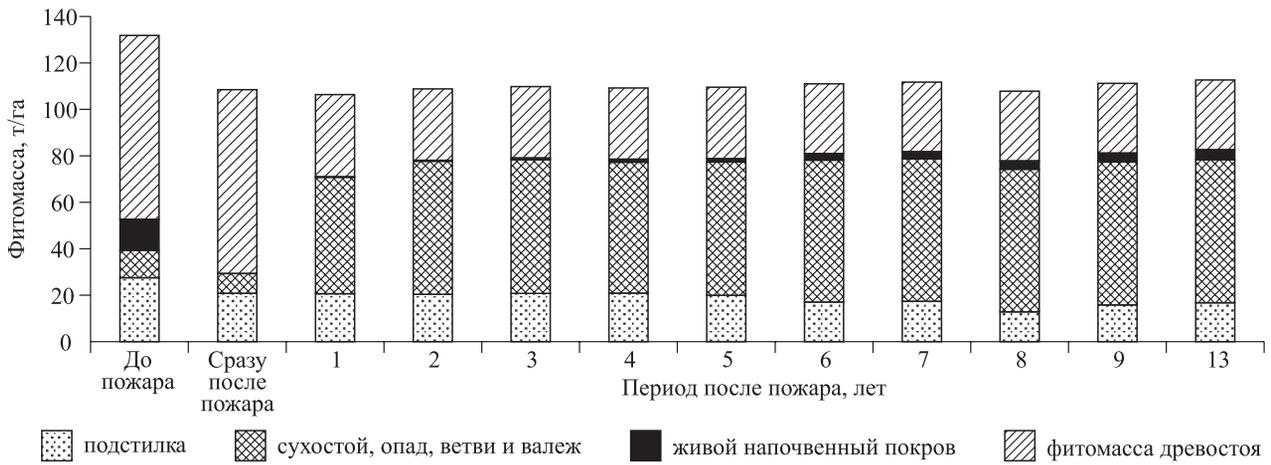


Рис. 6. Изменение структуры надземной фитомассы после высокоинтенсивного пожара в южно-таежном сосняке (участок № 11).

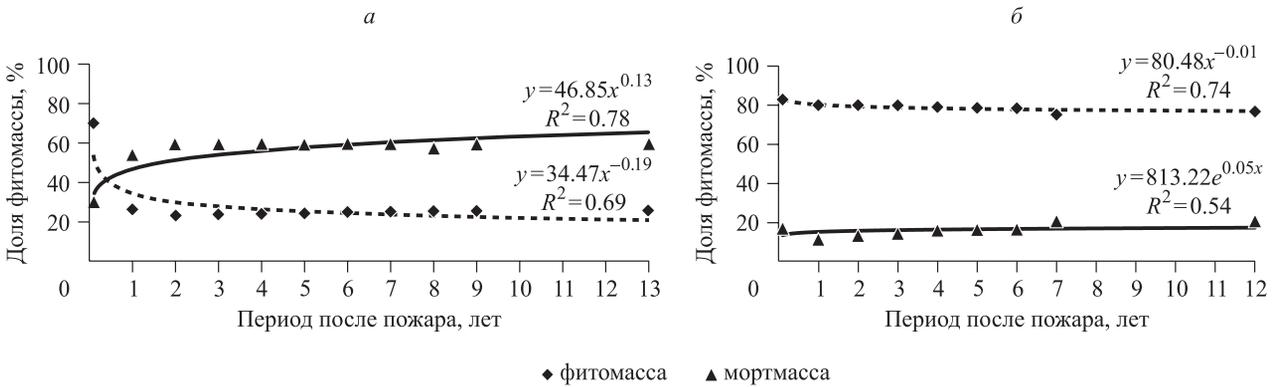


Рис. 7. Соотношение надземной фитомассы растительности и мортмассы в южно-таежных сосняках после пожаров высокой (а) и низкой (б) интенсивности (доля от допожарной надземной фитомассы, %).

После пожаров низкой интенсивности надземная фитомасса не претерпела значительных изменений. Фитомасса растительности снизилась на 6 % по сравнению с допожарным значением после низкоинтенсивного и на 44 % после высокоинтенсивного пожаров (см. рис. 7), т. е. наиболее значительная ее трансформация произошла после воздействия пожара высокой интенсивности. Подобные процессы постпирогенной трансформации фитомассы присущи и средне-, и южно-таежным соснякам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследования показали, что пожары воздействуют на все компоненты соснового насаждения, но в разной степени, которая определяется интенсивностью горения. От интенсивности пожара зависит количество сгоревшей фитомассы. Сгорание фитомассы оказывает влияние на послепожарные процессы, такие как отпад древостоя, трансформация фитомассы, направлен-

ность сукцессии и лесовозобновления, независимо от зонально-экологических условий. Все эти процессы взаимосвязаны.

Экспериментальное моделирование пожаров и проведение последующего мониторинга изменения растительности позволили получить данные о трансформации компонентов сосновых насаждений после пожаров разной интенсивности. Выявлено, что на начальном этапе лесовосстановление в сосняках проходит удовлетворительно и без смены породного состава.

Лесные пожары также влияют на послепожарную трансформацию фитомассы, накопление которой определяется количеством сгоревших ЛГМ и степенью повреждения компонентов насаждения. После пожаров происходит перераспределение фитомассы растительности в мортмассу, особенно резко выраженное после пожаров высокой интенсивности.

На темпы послепожарного накопления напочвенной фитомассы также влияет интенсивность пожара. За рассматриваемый 14-летний

послепожарный период напочвенная фитомасса достигла допожарного уровня только после средне- и низкоинтенсивных пожаров.

В лесах Сибири пожары возникают ежегодно, поэтому необходимы дальнейшие детальные исследования их воздействия на компоненты насаждения и процессы послепожарного восстановления лесов.

Работа проведена по темам базовых проектов: № 0356-2016-0706, № 0356-2016-0708.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Амосов Г. А.* Некоторые особенности горения при лесных пожарах. Л.: ЛенНИИЛХ, 1958. 30 с.
- Балышев И. Н.* Сравнительная пожароустойчивость древесных пород таежной зоны // Лесные пожары и борьба с ними. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 114–126.
- Безкорвайная И. Н., Иванова Г. А., Тарасов П. А., Сорокин Н. Д., Богородская А. В., Иванов В. А., Кононад С. Г., Макрае Д. Дж.* Пирогенная трансформация почв сосняков средней тайги Красноярского края // Сиб. экол. журн. 2005. Т. 12. № 1. С. 143–152.
- Белов С. В.* Лесная пирология. Л.: Изд-во ЛЛГА, 1982. 68 с.
- Ваганов Е. А., Арбатская М. К.* История климата и частота пожаров в центральной части Красноярского края. I. Климатические условия сезона роста и распределение пожаров в сезоне // Сиб. экол. журн. 1996. Т. III. № 1. С. 9–18.
- Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири / *Г. А. Иванова, С. Г. Кононад, Д. Дж. Макрае, И. Н. Безкорвайная, А. В. Богородская, С. В. Жила, В. А. Иванов, А. В. Иванов, Н. М. Ковалева, Е. Н. Краснощекова, Е. А. Кукавская, Д. Н. Орешков, В. Д. Перевозникова, Ю. Н. Самсонов, Н. Д. Сорокин, П. А. Тарасов, П. А. Цветков, А. С. Шишкин.* Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2014. 232 с.
- Войнов Г. С., Софронов М. А.* Прогнозирование отпада в древостоях после низовых пожаров // Современные исследования типологии и пирологии леса. Архангельск: Ин-т леса и лесохимии, 1976. С. 115–121.
- Вонский С. М., Семенов М. М., Тетюшева Л. В., Корбут В. И., Жданко В. А.* Определение природной пожарной опасности в лесу // Методические рекомендации. Л.: ЛенНИИЛХ, 1975. 40 с.
- Гирс Г. И.* Физиологические аспекты устойчивости хвойных растений к огненным повреждениям // Проблемы лесоведения Сибири. М.: Наука, 1977. С. 148–159.
- 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.
- Гордей Н. В., Чурило Е. В., Навойчик А. Л.* Огнестойкость деревьев в насаждениях основных лесобразующих пород // Проблемы лесоведения и лесоводства. Сб. науч. тр. Вып. 72. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2012. С. 438–444.
- Горшков В. В., Ставрова Н. И., Баккал И. Ю.* Динамика восстановления лесной подстилки в бореальных сосновых лесах после пожаров // Лесоведение. 2005. № 3. С. 37–45.
- Демаков Ю. П., Калинин К. К., Иванов А. В.* Послепожарный отпад в сосняках и его прогнозирование // Лесн. хоз-во. 1982. № 6. С. 51–53.
- Евдокименко М. Д.* Микроклимат древостоев и гидротермический режим почв в сосновых лесах Забайкалья после низовых пожаров // Горение и пожары в лесу: мат-лы Первого Всесоюз. науч.-техн. совещ. Ч. 3. Лесные пожары и их последствия. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1979. С. 130–140.
- Евдокименко М. Д.* Динамика лесной подстилки в сосняках Забайкалья после низовых пожаров // Роль подстилки в лесных биогеоценозах. М.: Наука, 1983. С. 62.
- Евдокименко М. Д.* Роль пирогенного фактора в продуктивности древостоев // Факторы продуктивности леса. Сб. науч. тр. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1989. С. 53–90.
- Иванова Г. А., Иванов А. В.* Пожары в сосновых лесах Средней Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2015. 240 с.
- Иванова Г. А., Перевозникова В. Д.* Послепожарное формирование живого напочвенного покрова в сосняках Среднего Приангарья // Сиб. экол. журн. 1996. Т. III. № 1. С. 109–116.
- Курбатский Н. П.* Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
- Матвеев П. М.* Последствия пожаров в лиственных биогеоценозах на многолетней мерзлоте. Красноярск: СибГТУ, 2006. 268 с.
- Мелехов И. С.* Природа леса и лесные пожары. Архангельск: ОГИЗ, 1947. 60 с.
- Мелехов И. С.* Влияние пожаров на лес. М.; Л.: Гослестехиздат, 1948. 126 с.
- Молчанов А. А.* Влияние лесных пожаров на древостой // Тр. Ин-та леса АН СССР. Т. 16. М.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 314–335.
- Орешков Д. Н., Шишкин А. С.* Динамика животного населения при воздействии пожаров разной интенсивности в среднетаежных сосняках Средней Сибири // Сиб. экол. журн. 2003. Т. 10. № 6. С. 743–748.
- Побединский А. В.* Сосновые леса Средней Сибири и Забайкалья. М.: Наука, 1965. 268 с.
- Попов Л. В.* Южно-таежные леса Сибири. Иркутск: Изд-во Иркутск. ун-та, 1982. 330 с.
- Попова Э. П.* Особенности почвообразования в лесных биогеоценозах Приангарья в зависимости от давности пожаров // Генезис и география лесных почв. М.: Наука, 1980. С. 40–52.
- Санников С. Н.* Лесные пожары как эволюционно-экологический фактор возобновления популяций сосны в Зауралье // Горение и пожары в лесу: мат-лы совещ.

- Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1973. С. 236–277.
- Санников С. Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. М.: Наука, 1992. 264 с.
- Санников С. Н., Санникова Н. С., Петрова И. В. География естественного возобновления сосны обыкновенной на гарях в лесах Северной Евразии // Пожары в лесных экосистемах Сибири: мат-лы Всерос. конф. с междунар. участ., 17–19 сент. 2008 г., Красноярск. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2008. С. 178–180.
- Софронов М. А. Лесные пожары в горах Южной Сибири. М.: Наука, 1967. 150 с.
- Фуряев В. В., Заболоцкий В. И., Черных В. А. Пожароустойчивость сосновых лесов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 2005. 160 с.
- Фуряев В. В., Киреев Д. М. Изучение послепожарной динамики лесов на ландшафтной основе. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. 160 с.
- Шеушков М. А. Биоэкологические и зонально-географические основы охраны лесов от пожаров на Дальнем Востоке: автореф. дис. ... д-ра с.-х наук: 06.03.03. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1988. 46 с.
- Agee J. K. Fire ecology of Pacific Northwest forests. Washington, D. C.: Island Press, 1993. 493 p.
- Brown J. K. A planar intersect method for sampling fuel volume and surface area // For. Sci. 1971. V. 17. N. 1. P. 96–102.
- Conard S. G., Tsvetkov P. A., Ivanova G. A., McRae D. J. Impacts of fire severity and fire behavior on mortality of *Pinus sylvestris* in pine forests of Central Siberia // Climate Disturbance Interactions in Boreal Forest Ecosystems. IBFRA 12-th Annual Sci. Conf., 3–6 May 2004, Fairbanks, Alaska, U.S.A. Program and Abstracts. P. 54.
- Cottam G., Curtis J. T. The use of distance measures in phytosociological sampling // Ecology. 1956. V. 37. N. 3. P. 451–460.
- Ivanova G. A., Ivanov V. A., Kovaleva N. M., Conard S. G., Zhila S. V., Tarasov P. A. Succession of vegetation after a high-intensity fire in a pine forest with lichens // Contemp. Probl. Ecol. 2017. V. 10. Iss. 1. P. 52–61 (Original Russian Text © G. A. Ivanova, V. A. Ivanov, N. M. Kovaleva, S. G. Conard, S. V. Zhila, P. A. Tarasov, 2017, publ. in Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal. 2017. V. 24. N. 1. P. 61–71).
- Keane R. E., Arno S. F., Brown J. K. FIRESUM – an ecological process model for fire succession in Western conifer forests. Gen. Tech. Rep. INT-266. USDA For. Serv., Intermountain Res. St., Ogden, UT, USA, 1989. 76 p.
- Keane R. E., Ryan K. C., Finney M. A. Simulating the consequences of fire and climate regimes on a complex landscape in Glacier National Park, Montana / T. L. Pruden, L. A. Brennan (Eds.) / Proc. 20th Tall Timbers Fire Ecol. Conf. Fire in ecosystem management: shifting the paradigm from suppression to prescription. Boise, ID, Tall Timbers Res. St. & Land Conservancy Inc., Tallahassee, FL, USA, 1998. P. 310–324.
- Kovaleva N. M., Ivanova G. A. Recovery of ground vegetation at the initial stage of fire succession // Contemp. Probl. Ecol. 2013. V. 6. Iss. 2. P. 162–169 (Original Russian Text © N. M. Kovaleva, G. A. Ivanova, 2013, publ. in Sibirskii Ekologicheskii Zhurnal. 2013. V. 20. N. 2. P. 205–215).
- 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. J. Wildland Fire. 2014. V. 23. N. 6. P. 872–886.
- Lea S. W., Morgan P. Resprouting response of ninebark (*Physocarpus malvaceus*) shrubs to burning and clipping // For. Ecol. Manag. 1993. V. 56. Iss. 1–4. P. 199–210.
- Lenihan J. M., Daly C., Bachelet D., Neilson R. P. Simulating broad-scale fire severity in a dynamic global vegetation model // Northwest Sci. 1998. V. 72. Spec. Iss. P. 91–103.
- McRae D. J., Alexander M. E., Stocks B. J. Measurement and description of fuels and fire behavior on prescribed burns: A handbook. Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., Sault Ste. Marie, ON, Inf. Rep. O-X-287, 1979. 44 p.
- McRae D. J., Conard S. G., Ivanova G. A., Sukhinin A. I., Baker S. P., Samsonov Y. N., Blake T. W., Ivanov V. A., Churkina T. V., Hao W. M., Koutzenogij K. P., Kovaleva N. M. Variability of fire behavior, fire effects and emissions in Scotch pine forests of Central Siberia // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change. 2006. V. 11. N. 1. P. 45–74.
- Reinhardt E. D., Keane R. E., Brown J. K. Modeling fire effects // Int. J. Wildland Fire. 2001. V. 10. N. 3–4. P. 373–380.
- Robichaud P. R., Elliot W. J., Pierson F. B., Wohlgemuth P. M. Risk assessment of fuel management practices on hillslope erosion processes / L. F. Neuenschwander, K. C. Ryan (Tech. Eds.) / Proc. Joint Fire Sci. Conf. and Workshop «Crossing the Millennium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management», June 15–17, 1999, Boise, ID. V. II. Moscow, ID: Univ. Idaho, 2000. P. 58–64.
- Ryan K. C., Reinhardt E. D. Predicting postfire mortality of seven western conifers // Can. J. For. Res. 1988. V. 18. N. 10. P. 1291–1297.
- Tarasov P. A., Ivanov V. A., Ivanova G. A., Krasnoshchekova E. N. Post-pyrogenic changes in the hydrothermal parameters of soils in middle-taiga pine forests // Euras. Soil Sci. 2011. V. 44. Iss. 7. P. 731–738 (Original Russian Text © P. A. Tarasov, V. A. Ivanov, G. A. Ivanova, E. N. Krasnoshchekova, 2011, publ. in Pochvovedenie. 2011. N. 7. P. 795–803).
- Turner M. G., Hargrove W. W., Gardner R. H., Romme W. H. Effects of fire on landscape heterogeneity in Yellowstone National Park, Wyoming // J. Veget. Sci. 1994. V. 5. Iss. 5. P. 731–742.
- Van Wagner C. E. The line intersect method in forest fuel sampling // For. Sci. 1 March 1968. V. 14. N. 1. P. 20–26.

POST-FIRE TRANSFORMATION OF BASIC COMPONENTS OF PINE FORESTS IN CENTRAL SIBERIA

G. A. Ivanova¹, S. V. Zhila¹, V. A. Ivanov², N. M. Kovaleva¹, E. A. Kukavskaya¹

¹ Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch
Akademgorodok, 50/28, Krasnoyarsk, 660036 Russian Federation

² Academician M. F. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
Prospekt Mira, 82, Krasnoyarsk, 660049 Russian Federation

E-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru, new_science@bk.ru, ivanovv53@yandex.ru, nk-75@mail.ru, kukavskaya@ksc.krasn.ru

Based on experiments of forest fire modeling conducted in 2000–2003 for the first time in Siberia, long-term monitoring of impact of various intensities fires on Scots pine stand components and post-fire succession was conducted. The most significant postfire transformation of all Scots pine stands components was revealed after high-intensity fires. The relationship between tree mortality and fire intensity was established. The estimation of initial post-fire succession, change of composition and structure of grasses and small shrubs as well as pine regeneration was provided. The relationship between phytomass consumption and fire intensity was established. Aboveground phytomass decreased after fires of low intensity by 5–10 %, and after high-intensity fires – by 74 %. The greatest accumulation of ground phytomass occurs in the first postfire years, which is associated with the intensive tree mortality during this period. Due to tree mortality, mortmass (duff, down woody debris) increased after high-intensity fire more than two times. After the fires, the redistribution of the living biomass to mortmass occurs, with highest changes found after high-intensity fires. The relationships between phytomass accumulation and fire intensity and time since fire were obtained for southern and central taiga Scots pine stands. The investigation conducted allows to forecast impact of fires of various intensities on forest components, post-fire succession and reforestation of Siberian Scots pine stands based on data on prefire pine characteristics and fire intensity.

Keywords: forest fires, pine forests, stand components, phytomass, post-fire succession, Central Siberia.

How to cite: Ivanova G. A., Zhila S. V., Ivanov V. A., Kovaleva N. M., Kukavskaya E. A. Post-fire transformation of basic components of pine forests in Central Siberia // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2018. N. 3. P. 30–41 (in Russian with English abstract).