

УДК 630.431:614.841.2

ДИНАМИКА ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ В СОСНЯКЕ РАЗНОТРАВНО-ЗЕЛЕНОМОШНОМ ПОСЛЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО НИЗОВОГО ПОЖАРА¹

© 2020 г. Р. С. Собачкин^а, *, Н. М. Ковалева^а

^аИнститут леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, Академгородок, 50, стр. 28, Красноярск, 660036 Россия

*E-mail: romans@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 20.04.2018 г.

После доработки 19.06.2018 г.

Принята к публикации 29.01.2020 г.

Длительное отсутствие лесных пожаров в спелом сосняке разнотравно-зеленомошном привело к накоплению значительных запасов лесных горючих материалов — 43.40 т га⁻¹. Возросла потенциальная горимость насаждения. Это обусловило необходимость проведения мероприятий, направленных на снижение вероятности возникновения лесных пожаров. Проведение контролируемого выжигания слабой силы в ранневесенний период существенно изменило структуру и запас лесных горючих материалов: через 2 г. после него увеличился общий запас лесных горючих материалов на 28.7% по сравнению с допожарным показателем, который достиг 60.83 т га⁻¹. Общий запас лесных горючих материалов увеличился главным образом за счет накопления запасов лесной подстилки и опада. Запас проводников горения (опад, мхи и подстилка) возрос после выжигания на 22.8% и составил 54.9 т га⁻¹. Высокий запас проводников горения свидетельствует о повышении потенциальной горимости древостоя, что может привести к возникновению высокоинтенсивных природных лесных пожаров. Однократное выжигание в спелом, чистом по составу, высокополнотном сосняке разнотравно-зеленомошном через 2 г. не привело к снижению общего запаса лесных горючих материалов и проводников горения. В дальнейшем рекомендуется проведение серий контролируемых выжиганий разной периодичности, для снижения общего запаса лесных горючих материалов и проводников горения и достижения тем самым низкой потенциальной горимости соснового древостоя.

Ключевые слова: лесные горючие материалы, живой напочвенный покров, лесная подстилка, опад, упавшие древесные горючие материалы, сосняки.

DOI: 10.31857/S0024114820030092

Положительное влияние огня на лес было отмечено еще в прошлом столетии. Оно проявлялось в стимулировании процессов естественного возобновления, снижении пожарной опасности в основных насаждениях (Тюрин, 1925; Казанский, 1931; Ткаченко, 1931; Белов, 1973; Мелехов, 1983). В Сибири контролируемый огонь использовался для борьбы с энтомоуничтожителями (Прозоров, 1956), а также для стимулирования естественного восстановления в темнохвойных лесах, усохших от повреждения сибирским шелкопрядом (Фуряев, 1966). В Красноярском крае предписанные выжигания были проведены на вырубках и под пологом леса (Valendik et al., 1997; Валендик, 1998; Валендик и др., 2000, 2001), а также в местах дефолиации сибирским шелкопрядом (Valendik et al., 2006; Валендик и др., 2007).

Поскольку контролируемые выжигания заранее планируются и проводятся в менее экстремальных условиях, чем природные (естественные) лесные пожары, они обеспечивают большую безопасность и меньший вред окружающей среде, а также могут снизить вероятность, интенсивность и площадь лесных пожаров (Weaver, 1964; Biswell, 1967; Sweaney, 1985; Saveland, 1987). В настоящее время при использовании технологии контролируемых выжиганий появилась возможность моделировать пирогенные сукцессии и прогнозировать лесовосстановление, основываясь на характеристиках пожара (интенсивность, время пламенного горения, глубина прогорания и др.) (McRae et al., 2006; Valendik et al., 2013; Иванова и др., 2014). Контролируемые выжигания обычно не дают широкого диапазона интенсивности пожара, в отличие от лесных пожаров, но показывают пространственную и временную изменчивость (Van Wagendonk, Lutz, 2007). Ежегодные выжигания, как правило, приводят к большему снижению горючих материалов, чем

¹ Работа выполнена по базовым проектам: № 0356-2016-0706, № 0356-2016-0708.

Работа выполнена в рамках Госзадания на 2016 г. (№ 0356-2016-0706, № 0356-2016-0708).

периодические выжигания (Kodama, Van Lear, 1980; McKee, 1982; Brockway, Lewis, 1997).

Информация об изменениях структуры и скорости накопления запасов лесных горючих материалов необходима для прогнозирования пожароустойчивости насаждений, а также потенциальной возможности возникновения лесных пожаров, их силы и последствий. Целью исследований являлась оценка структуры и запасов лесных горючих материалов до и после экспериментального низового пожара в чистом по составу спелом сосняке разнотравно-зеленомошном в Красноярской лесостепи.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследования проведены в сосновом спелом древостое Погорельского бора, который территориально входит в Красноярскую островную лесостепь (56°22' с.ш., 92°57' в.д.). Абсолютные высоты колеблются в пределах 250–300 м. Климат резко континентальный, средняя годовая температура воздуха 0.5°C. Продолжительность вегетационного периода 150 дней. Среднегодовое количество осадков 400 мм (Агроклиматический ..., 1961; Справочник ..., 1967).

Состав древостоя на исследуемом участке – 10С, средний возраст – 110 лет, густота древостоя – 650 шт. га⁻¹. Средний диаметр – 31.5 см, средняя высота – 25.9 м, II класс бонитета. Запас сухостоя 21.3 м³ га⁻¹, валежа – 0.44 т га⁻¹. Сумма площадей поперечных сечений деревьев – 50.7 м² га⁻¹. Подлесок редкий, из *Rosa acicularis*. Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса в сосняке разнотравно-зеленомошном до пожара составляло 20.4%. Доминировали *Vaccinium vitis-idaea* (8.9%), *Calamagrostis arundinacea* (6.8%). Проективное покрытие мохового покрова составляло 32.5%, доминировали *Hylocomium splendens* (12.5%), *Pleurozium schreberi* (11.7%). Почва дерново-подзолистая. Средняя мощность подстилки составляла 4.1 ± 0.3 см.

Оценка запаса и структуры лесных горючих материалов проводилась в спелом сосновом разнотравно-зеленомошном древостое на постоянной пробной площади, не подвергавшейся пожарам более 50 лет (Иванова и др., 2002). В данном древостое в ранневесенний период проведено контролируемое выжигание слабой силы, с имитацией естественного весеннего лесного пожара. Характеристика экспериментального пожара: высота пламени составила 0.8 м, скорость распространения огня – 1.1 м мин⁻¹, глубина прогорания подстилки – 1.4 ± 0.2 см.

Напочвенные горючие материалы отбирали по методике Н.П. Курбатского (1970) на 15 учетных площадках размером 20 × 25 см. Хвоя, шишки, кора были отнесены к отдельной фракции – опаду.

У травяно-кустарничкового и мохового покрова срезалась зеленая часть. Подстилка отбиралась до минерального горизонта. В лабораторных условиях образцы напочвенных горючих материалов высушивали при температуре 100–105°C до абсолютно сухого состояния, с последующим взвешиванием.

Запасы упавших древесных горючих материалов (УДГМ) определяли методом пересеченных линий до и после проведения выжигания по методике С.Е. Van Wagner (1968), которая была усовершенствована D.J. McRae с соавт. (1979). Метод заключается в определении классов диаметра элементов древесных горючих материалов, попавших в вертикальную плоскость пересечения с пробной линией. Учет УДГМ проводился вдоль линии протяженностью 5 м. Пробная площадь была разбита на три квадрата размером 10 × 10 м. В каждом квадрате для учета УДГМ было заложено по 4 линии. Число древесных элементов (веточки и ветви <7 см в диаметре), которые оказывались в плоскости пересечения с линией (нитью) суммировались по 5 классам диаметра (см): 1) 0.1–0.49; 2) 0.5–0.99; 3) 1.0–2.99; 4) 3.0–4.99; 5) 5.0–6.99. Затем подбирали специальный коэффициент (для 1 класса диаметра – 0.0015, 2 – 0.0060, 3 – 0.0396, 4 – 0.1896 и 5 класса диаметра – 0.4995) и путем умножения его на число пересеченных с нитью элементов соответствующего класса диаметра получали запас упавших древесных материалов (Иванова и др., 2014).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

До проведения экспериментального выжигания общий запас лесных горючих материалов в спелом сосновом древостое разнотравно-зеленомошном установлен 43.40 т га⁻¹. Лесная подстилка составила 34.69 ± 6.58 т га⁻¹ (или 79.9% от общего запаса), что согласуется с литературными данными (Курбатский, 1970; Запезалов, Кисляхов, 2010; Собачкин и др., 2017). Запас лесного опада составил 15.2% от общего запаса лесных горючих материалов (или 6.59 ± 1.78 т га⁻¹). Запасы упавших древесных горючих материалов и зеленых мхов близки по своим значениям – 0.92 ± 0.09 и 1.08 ± 0.40 т га⁻¹ соответственно (или 2.1 и 2.5%). Живой напочвенный покров имел наименьшее значение (0.3%) в общем запасе лесных горючих материалов (табл. 1).

На следующий год после проведения контролируемого выжигания общий запас лесных горючих материалов увеличился на 22.1% (или 12.34 т га⁻¹) по сравнению с допозарной величиной и составил 55.74 т га⁻¹, главным образом за счет увеличения запаса лесной подстилки до 49.23 ± 3.97 т га⁻¹. Мощность лесной подстилки составила 4.5 ± 0.5 см. Масса лесной подстилки увеличилась за счет недогоревших фракций опада (шишек, коры и

Таблица 1. Запас лесных горючих материалов в сосняке разнотравно-зеленомошном до и после выжигания, т га⁻¹

Вид лесного горючего материала	Временной промежуток		
	до выжигания	1 год	2 года
Подстилка	34.7 ± 6.6*	49.2 ± 4.0	50.7 ± 0.5
Опад	6.6 ± 1.8	5.6 ± 2.1	9.1 ± 2.8
УДГМ	0.9 ± 0.1	0.7 ± 0.1	0.8 ± 0.1
Живой напочвенный покров	0.1 ± 0.1	0.2 ± 0.01	0.3 ± 0.015
Мхи	1.1 ± 0.4	0.005 ± 0.005	0.002 ± 0.002

* С учетом среднеквадратичного отклонения.

хвои) и недогоревших упавших древесных горючих материалов. Доля лесной подстилки в общем запасе лесных горючих материалов увеличилась до 88.3%. После проведения выжигания доля лесного опада от общего запаса лесных горючих материалов уменьшилась с 15.2 до 10.1% и составила 5.61 ± 2.11 т га⁻¹. Запас упавших древесных материалов уменьшился и составил 1.3%. После гибели мохового покрова в результате пожара фитомасса напочвенного покрова увеличилась за счет разнотравья и достигла 0.17 ± 0.01 т га⁻¹.

На второй год после проведения выжигания общий запас лесных горючих материалов увеличился и достиг 60.83 т га⁻¹. Запас лесной подстилки превысил допожарные значения и составил 83.4% (или 50.71 ± 0.50 т га⁻¹). Мощность подстилки увеличилась до 5.1 ± 0.4 см. Запас лесного опада увеличился по сравнению с допожарным показателем на 27.5% и составил 9.09 ± 2.84 т га⁻¹. Доля упавших древесных горючих материалов не изменилась по сравнению с предыдущим годом наблюдений и составила 1.3% от общего запаса горючих материалов (или 0.77 ± 0.14 т га⁻¹). Фитомасса живого напочвенного покрова достигла максимальных значений за весь период исследований и составила 0.25 ± 0.02 т га⁻¹, в результате она превысила допожарный показатель в 2.3 раза. Мхи через год после выжигания на пробной площади отсутствовали.

Структура упавших древесных горючих материалов изменилась после проведения выжигания слабой силы. До проведения выжигания в спелом сосновом насаждении преобладали упавшие древесные горючие материалы 1-го класса (53.2%, или 0.49 ± 0.03 т га⁻¹) с диаметром до 0.5 см. На долю 2-го класса размером 0.5–1.0 см приходилось 14.6%, или 0.14 ± 0.02 т га⁻¹. Упавшие древесные материалы 3-го класса (размером 1.0–3.0 см) составляли 32.2% или 0.30 ± 0.09 т га⁻¹. Общий запас упавших древесных материалов составлял 0.92 ± 0.09 т га⁻¹ (рис. 1). В результате выжигания слабой силы общий запас упавших древесных горючих материалов уменьшился в 2.1 раза, преимущественно за счет первых двух классов, и составил 0.44 ± 0.12 т га⁻¹. Упавшие древесные материалы

низших классов диаметра после выжигания составили 0.90 и 15.9% для 1- и 2-го классов, соответственно. Упавшие древесные горючие материалы 3-го класса диаметра составляли 0.36 ± 0.10 т га⁻¹, или 83.2%.

На следующий год после выжигания общий запас упавших древесных горючих материалов увеличился в 1.6 раза и составил 0.72 ± 0.14 т га⁻¹. Наибольшая доля соответствует упавшим древесным материалам максимальной крупности 3-го класса (размером 1.0–3.0 см) и составила 50.6%. На долю 1-го и 2-го классов приходилось 30.6 и 18.8% соответственно.

На второй год после проведения выжигания слабой силы в спелом древостое общий запас упавших древесных горючих материалов не достиг исходного показателя и составил 0.77 ± 0.14 т га⁻¹. Доля наибольшего класса крупности еще больше увеличилась по сравнению с другими классами и составила 64.1%, или 0.50 ± 0.15 т га⁻¹. Запас упавших древесных материалов 1- и 2-го составил соответственно 21.0 и 14.9% от общего запаса древесных материалов.

Преобладание упавших древесных горючих материалов диаметром 1.0–3.0 см после проведе-

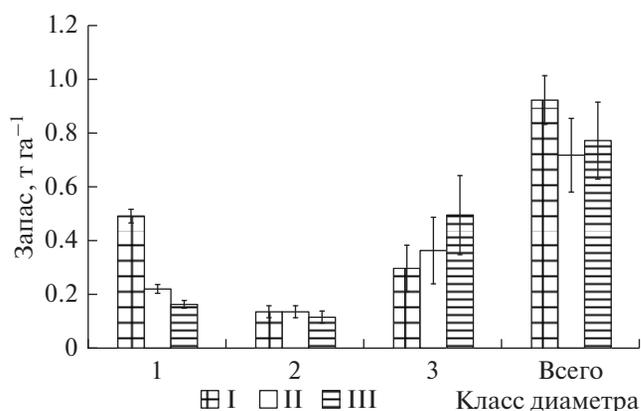


Рис. 1. Запас упавших древесных горючих материалов по размерным классам. На рис. 1 и 2 I – до выжигания, II – через год, III – через 2 г. после выжигания. Погрешность на графиках – среднеквадратичное отклонение.

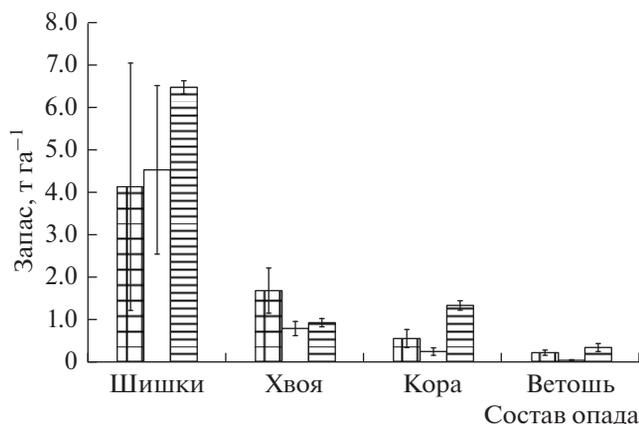


Рис. 2. Фракционный состав опада в сосняке до и после выжигания.

ния выжигания на протяжении всего периода наблюдений объясняется возрастом соснового древостоя, высокой полнотой деревьев и как следствие этого – формированием специфической структуры крон деревьев. В таком древостое крона высоко “подняты” по стволу деревьев, основная масса крон деревьев состоит из крупных скелетных ветвей, что сводит к минимуму образование тонких ветвей в общей массе.

Лесной опад представляет собой совокупность мелких частей растительности на поверхности почвы и среди живого напочвенного покрова (Курбатский, 1970; Цветков, 2001). К нему относятся опавшая хвоя, шишки, кора деревьев и травяная ветошь. Соотношение данных фракций в опаде различно и зависит от типа леса и возраста древостоя.

По литературным данным масса опада в сосняках Красноярской лесостепи варьирует от 0.8 до 1.3 т га⁻¹ (Иванова, 2005). В среднетаежных сосняках лишайниково-зеленомошных (район пос. Ярцево) опад изменяется от 1.0 до 2.9 т га⁻¹ (Кукавская, 2009). В сосняках Нижнего Приангарья масса опада варьирует от 1.6 до 5.3 т га⁻¹, где доля хвои составляет 34–50%, коры – 16–34%, шишек – 22–31%, ветоши – 2–5% (Жила, 2013). Фитомасса опада в сосняках Селенгинского среднегорья (Республика Бурятия) варьирует от 3.1 до 6.8 т га⁻¹. В составе опада на хвою приходится 29–43%, ветошь – 15%, кору и шишки – 11–40% (Платонова, 2015).

Как показали наши исследования, до проведения выжигания запас лесного опада в спелом сосновом древостое составлял 6.59 ± 1.78 т га⁻¹. Основной вклад в структуре опада приходился на шишки 4.14 ± 2.92 т га⁻¹, или 62.8% от общего запаса опада. Опавшая хвоя составляла 1.68 ± 0.53 т га⁻¹, или 25.5%, на кору и травяную ветошь приходилось 8.4 и 3.3% соответственно.

На следующий год после выжигания существенно изменилась структура опада. Запас сократился на 14.8% и составил 5.61 ± 2.11 т га⁻¹. Доля шишек увеличилась до 80.9%, что объясняется стимулирующей репродуктивной функцией спелых деревьев сосны после проведения выжигания. Запас хвои, коры и ветоши существенно сократился по сравнению с первоначальными показателями и составил соответственно 0.79 (14.1%), 0.25 (4.4%) и 0.04 т га⁻¹ (0.7%) (рис. 2).

На второй год после выжигания общий запас лесного опада достиг своего максимума и составил 9.09 ± 2.84 т га⁻¹. Запас шишек достиг максимального значения – 6.49 ± 0.15 т га⁻¹, или 71.4% от общего запаса опада. На запас опавшей хвои приходится 10.2% (или 0.93 ± 0.10 т га⁻¹). Запас коры и травяной ветоши существенно превысили допозарные показатели и составили соответственно 1.33 ± 0.11 и 0.34 ± 0.10 т га⁻¹. Увеличение запаса коры и ветоши соответственно в 2.4 и 1.5 раза в опаде связано с огненным эффектом на древостой.

Анализ структуры лесных горючих материалов показал, что на долю проводников горения (опад, мхи и подстилка) в спелом сосняке до выжигания приходилось 42.37 т га⁻¹. На следующий год после выжигания данный показатель увеличился на 22.8% и составил 54.85 т га⁻¹. На второй год после выжигания запас проводников горения достиг своего максимального значения и составил 59.80 т га⁻¹, что превышает допозарный показатель в 1.4 раза. Накопление запаса проводников горения произошло главным образом за счет увеличения запаса лесной подстилки (гибели мохового покрова и перехода недогоревшей части в подстилку) и опада – за счет фракции шишек и коры. Это объясняется физиологической реакцией спелого соснового фитоценоза на пирогенный фактор. Накопление запаса проводников горения увеличивает потенциальную горимость древостоя, что может привести к возникновению естественных лесных пожаров высокой интенсивности. Для снижения потенциальной горимости спелого соснового древостоя необходимо проведение серий контролируемых выжиганий различной периодичности, для уменьшения общего запаса проводников горения до уровня низкой потенциальной горимости (Исаев, 1966).

Заключение. В спелом высокополнотном сосняке разнотравно-зеленомошном при длительном отсутствии лесных пожаров общий запас лесных горючих материалов составил 43.40 т га⁻¹. Основную долю в общем запасе представляла лесная подстилка (79.9%).

Таким образом, на второй год после проведения экспериментального выжигания слабой силы в ранневесенний период установлено увеличение общего запаса лесных горючих материалов на

28.7% по сравнению с допожарным показателем, что составило 60.83 т га⁻¹. Общий запас лесных горючих материалов увеличился главным образом за счет накопления лесной подстилки и опада. Запас проводников горения увеличился после выжигания на 22.8% и достиг 54.85 т га⁻¹. Такое высокое значение свидетельствует об увеличении потенциальной горимости насаждения и может привести к возникновению естественных лесных пожаров. Следовательно, в сосняках зеленомошных и разнотравно-зеленомошных для снижения запасов проводников горения необходимо проведение серий контролируемых выжиганий с разной периодичностью для достижения низкой потенциальной горимости соснового древостоя. В этом случае возможно достижение оптимальных условий для формирования естественного лесовозобновления при низкой вероятности возникновения лесных пожаров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агроклиматический справочник по Красноярскому краю и Тувинской АО. Л.: Гидрометеиздат, 1961. 268 с.
- Белов С.В. Управляемый огонь в лесу средство восстановления сосняков и лиственничников таежной зоны // Горение и пожары в лесу. Красноярск: Изд-во ИЛИД СО АН СССР, 1973. С. 213–223.
- Валендик Э.Н. Управляемый огонь в лесном хозяйстве Сибири // Лесное хоз-во. 1998. № 4. С. 12–19.
- Валендик Э.Н., Векшин В.Н., Иванова Г.А. Контролируемые выжигания на вырубках в горных лесах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 171 с.
- Валендик Э.Н., Векшин В.Н., Верховец С.В., Забелин А.И., Иванова Г.А., Кисляхов Е.К. Управляемый огонь на вырубках в темнохвойных лесах. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 209 с.
- Валендик Э.Н., Верховец С.В., Кисляхов Е.К., Косов И.В., Тюльпанов Н.А., Лантух А.Ю. Технологии выжигания шелкопрядников // Региональные проблемы экосистемного лесоводства. Красноярск: Институт леса СО РАН, 2007. С. 246–250.
- Жила С.В. Трансформация фитомассы в светлосвойных насаждениях Нижнего Приангарья под воздействием пожаров: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук (спец. 06.03.02). Красноярск: Институт леса СО РАН, 2013. 20 с.
- Запезалов А.В., Кисляхов Е.К. Послепожарная регенерация лесных горючих материалов в сосняках Красноярской лесостепи // Ботанические исследования в Сибири. 2010. Вып. 18. С. 74–77.
- Иванова Г.А. Зонально-экологические особенности лесных пожаров в сосняках средней Сибири: Автореф. дисс. ... д-ра биол. наук (спец. 06.03.03). Красноярск: Институт леса СО РАН, 2005. 40 с.
- Иванова Г.А., Иванов В.А., Перевозникова В.Д. Формирование структуры и биомассы напочвенного покрова в сосняках Красноярской лесостепи под воздействием пожаров // Лесная таксация и лесоустройство. 2002. № 1(31). С. 91–97.
- Иванова Г.А., Конрад С.Г., Макрае Д.Д., Безкорвайная И.Н., Богородская А.В., Жила С.В., Иванов В.А., Иванов А.В., Ковалева Н.М., Краснощекова 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.
- Исаев А.С. Стволовые вредители лиственницы даурской. М.: Наука, 1966. 148 с.
- Казанский Н.А. Опыты по изучению влияния огня на возобновление сосны // Сборник статей по лесоводству. М.: Сельхозгиз, 1931. С. 9–78.
- Кукавская Е.А. Воздействие лесных пожаров на баланс углерода среднетаежных сосняков Енисейской равнины: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук (спец. 06.03.03). Красноярск: Институт леса СО РАН, 2009. 19 с.
- Курбатский Н.П. Исследование количества и свойств горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Изд-во ИЛИД СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
- Мелехов И.С. Лесная пирология: учебное пособие для студентов лесохозяйственных факультетов. М.: Московск. лесотех. институт, 1983. 59 с.
- Платонова И.А. Постпирогенная трансформация наземной фитомассы в сосняках Селенгинского среднегорья: Автореф. дисс. ... канд. биол. наук (спец. 06.03.02). Красноярск: Институт леса СО РАН, 2015. 20 с.
- Прозоров С.С. Сосновая пяденица в лесах Западной Сибири // Тр. Сибирского лесотех. института, 1956. Сб. 12. Вып. 2. С. 13–84.
- Собачкин Р.С., Ковалева Н.М., Петренко А.Е., Собачкин Д.С. Структура горючих материалов в сосняках разного возраста Красноярской лесостепи // Лесоведение. 2017. № 6. С. 431–436.
- Справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеиздат, 1967. Вып. 21. Ч. II. 504 с.
- Ткаченко М.Е. Очистка лесосек. М.; Л.: Сельхозхозиздат, 1931. 112 с.
- Тюрин А.В. Основы хозяйства в сосновых лесах. М.: Новая деревня, 1925. 144 с.
- Фурьев В.В. Шелкопрядники тайги и их выжигание. М.: Наука, 1966. 91 с.
- Цветков П.А. Запасы горючих материалов в лесах северо-востока Эвенкии // Лесное хоз-во. 2001. № 4. С. 33–35.
- Biswell H. Forest fire in perspective // Tall Timbers Fire Ecology Conference. 1967. № 7. P. 43–63.
- Brockway D.G., Lewis C.E. Long-term effects of dormant-season prescribed fire on plant community diversity, structure and productivity in a longleaf pine wiregrass ecosystem // Forest Ecology & Management. 1997. № 96. P. 167–183.
- Kodama H.E., Van Lear D.H. Prescribed burning and nutrient cycling relationships in young loblolly pine plantations // Southern J. Applied Forestry. 1980. № 4. P. 118–121.
- McKee W. H.Jr. Changes in soil fertility following prescribed burning on coastal plain pine sites // Southeastern Forest Experiment Station, Forest Service. 1982. 23 p.
- McRae D.J., Alexander M.E., Stocks B.J. Measurement of fuels and fire behavior on prescribed burns // Canadian Forestry Service, Great Lakes Forest Research Centre, Sault Ste. Marie, ON. Information Report O-X-287. 1979. 44 p.
- McRae D., Conard S., Ivanova G., Sukhinin A., Baker S., Samsonov Y., Blake T., Ivanov V., Ivanov A., Churkina T., Hao W., Koutzenogij K., Kovaleva N. Variability of Fire Behavior, Fire Effects, and Emissions in Scotch Pine Forests

Of Central Siberia // Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change. 2006. V. 11. P. 45–74.

Saveland J.M. Using prescribed fire to reduce the risk of large wildfires: A break-even analysis // Ninth Conference on Fire and Forest Meteorology. 1987. April 21–24, San Diego, CA, American Meteorological Society. P. 119–122.

Sweeney J.N. Old burns limit size of fires // Proceedings of the symposium and workshop on wilderness fire. USDA Forest Service General Technical Report INT-182. 1985. P. 389.

Valendik E.N., Lasko R.J., Kisilyakhov Ye.K., Ivanova G.A., Perevoznikova V.D., Verkhovets S.V. Prescribed fire for managing Siberian Forests // Wildfire. 1997. V. 6. № 8. P. 29–32.

Valendik E.N., Brissette J.C., Kisilyakhov Ye.K., Lasko R.J., Verkhovets S.V., Eubanks S.T., Kosov I.V., Lantukh A. Yu. An experimental burn to restore amoth-killed boreal a conifer for-

est, Krasnoyarsk region, Russia // Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change. 2006. V. 11. № 4. P. 883–896.

Valendik E.N., Goldammer J.G., Kisilyakhov Y.K., Ivanova G.A., Verkhovets S.V., Bryukhanov A.V., Kosov I.V., Byambasuren O., and the FIRESCAN Science Team. Prescribed burning in Russia and neighbouring temperate-boreal Eurasia. Remagen: Kessel Publishing House, 2013. 324 p.

Van Wagner C.E. The line intersect method in forest fuel sampling // Forest Science. 1968. V. 14. P. 20–26.

Van Wagendonk, J.W., Lutz, J.A. Fire regime attributes of wildland fires in Yosemite National Park, USA // Fire Ecology. 2007. V. 3. № 2. P. 34–52.

Weaver H. Fire and management problems in ponderosa pine // Tall Timbers Fire Ecology Conference. 1964. № 3. P. 61–79.

Inflammable Materials Dynamics in a Forbs-green Moss Pine Forest after an Experimental Ground Fire

R. S. Sobachkin^{1,*} and N. M. Kovaleva¹

¹Forest Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (FI SB RAS),
Academgorodok, 50, bldg. 28, Krasnoyarsk, 660036 Russia

*E-mail: romans@ksc.krasn.ru

The prolonged absence of forest fires in the mature forbs-green moss pine forest led to the accumulation of significant reserves of forest inflammable materials – 43.40 t ha⁻¹. The likelihood of fire breaking out in the forest stand has increased. This necessitated measures aimed at reducing the forest fire hazard. Carrying out a weak controlled burning in the early spring period significantly changed the structure and stock of forest inflammable materials: 2 years after it, the total stock of forest inflammable materials has increased by 28.7% compared with the pre-fire conditions, estimated as being 60.83 t ha⁻¹. The total stock of forest inflammable materials increased mainly due to the accumulation of the forest litter. The stock of burning conductors (litter, moss, etc) increased after burning by 22.8% and amounted to 54.9 t ha⁻¹. A high supply of combustion conductors indicates an increase in the potential of fire breaking out in the forest stand, which can lead to the occurrence of high-intensity natural forest fires. A single burnout in a ripe, pure in composition, high-density forbs-green moss pine forest after 2 years did not lead to a decrease in the total supply of forest inflammable materials and combustion conductors. In the future, it is recommended that a series of controlled fires of various periodicities should be carried out to reduce the total supply of forest inflammable materials and combustion conductors and thus achieve a low potential burnability of a pine forest stand.

Keywords: forest inflammable materials, alive ground cover, forest litter, fallen leaves, fallen woody inflammable materials, pine forests.

Acknowledgements: This study was carried out within the framework of the State Contract from 2016 (No. 0356-2016-0706, No. 0356-2016-0708).

REFERENCES

Agroklimaticheskii spravochnik po Krasnoyarskomu krayu i Tuvinskoj avtonomnoi oblasti (Handbook of agroclimatic features in Krasnoyarsk krai and Tuva autonomous oblast), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1961, 288 p.

Belov S.V., Upravlyaemyi ogon' v lesu sredstvo vosstanovleniya sosnyakov i listvennichnikov taezhnoi zony (Prescribed fire in forest way of restoration of pine forests and larch forests of the taiga zone), In: *Gorenje i pozhary v lesu (Burning and fires in the forest)*, Krasnoyarsk: Izd-vo ILiD SO AN SSSR, 1973, pp. 213–223.

Biswell H., Forest fire in perspective, *Tall Timbers Fire Ecology Conference*, 1967, No. 7, pp. 43–63.

Brockway D.G., Lewis C.E., Long-term effects of dormant-season prescribed fire on plant community diversity, structure and productivity in a longleaf pine wiregrass eco-

system, *Forest Ecology & Management*, 1997, No. 96, pp. 167–183.

Furyaev V.V., *Shelkopryadniki taigi i ikh vyzhiganie (Burning out the centers of moth outbreaks)*, M.: Nauka, 1966, 92 p.

Isaev A.S., *Stvolovye vrediteli listvennitsy daurskoi (Stem pests of dahurian larch)*, M.: Nauka, 1966, 148 p.

Ivanova G.A., Konard S.G., Makrae D.D., Bezkorovainaya I.N., Bogorodskaya A.V., Zhila S.V., Ivanov V.A., Ivanov A.V., Kovaleva N.M., Krasnoshchekova E.N., Kukavskaya E.A., Oreshkov D.N., Perevoznikova V.D., Samsonov Y.N., Sorokin N.D., Tarasov P.A., Tsvetkov P.A., Shishikin A.S., *Vozdeistvie pozharov na komponenty ekosistemy srednetaezhnykh sosnyakov Sibiri (The effect of fires on ecosystem components in pine forests of the middle taiga in Siberia)*, Novosibirsk: Nauka, 2014, 232 p.

- Ivanova G.A., *Zonal'no-ekologicheskie osobennosti lesnykh pozharov v sosnyakakh Srednei Sibiri. Avtoreferat diss. dokt. biol. nauk* (Zonal and environmental features of wildfires in pine forests of Central Siberia. Extended abstract of doctor's biol. sci. thesis), Krasnoyarsk: IL SO RAN, 2005, 40 p.
- Kazanskii N.A., Opyty po izucheniyu vliyaniya ognya na vobnovlenie sosny (Experiments on the influence of fire on pine renewal), In: *Sbornik statei po lesovodstvu (Digest of forestry articles)*, M.: Sel'khozgiz, 1931, pp. 9–78.
- Kodama H.E., Van Lear D.H., Prescribed burning and nutrient cycling relationships in young loblolly pine plantations, *Southern J. Applied Forestry*, 1980, No. 4, pp. 118–121.
- Kukavskaya E.A., *Vozdeistvie lesnykh pozharov na balans ugleroda srednetazhnykh sosnyakov Eniseiskoi ravniny. Avtoreferat diss. kand. biol. nauk.* (Impact of forest fires on carbon balance of middle taiga pine forests in the Yenisei Plain. Extended abstract of candidate's biol. sci. thesis), Krasnoyarsk: IL SO RAN, 2009, 19 p.
- Kurbatskii N.P., Issledovanie kolichestva i svoystv lesnykh goryuchikh materialov (Studying amounts and properties of forest fuel), In: *Voprosy lesnoi pirolologii (Challenges of the forest pyrology)*, Krasnoyarsk: Izd-vo ILiD SO AN SSSR, 1970, pp. 5–58 (385 p.).
- McKee W.H.J., *Changes in soil fertility following prescribed burning on coastal plain pine sites*, Southeastern Forest Experiment Station, Forest Service, 1982, 23 p.
- McRae D., Conard S., Ivanova G., Sukhinin A., Baker S., Samsonov Y., Blake T., Ivanov V., Ivanov A., Churkina T., Hao W., Koutzenogij K., Kovaleva N., Variability of Fire Behavior, Fire Effects, and Emissions in Scotch Pine Forests Of Central Siberia, *Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, Vol. 11, pp. 45–74.
- McRae D.J., Alexander M.E., Stocks B.J., Measurement of fuels and fire behavior on prescribed burns, *Canadian forestry service department of the environment report*, 1979, No. 0-X-287, 44 p.
- Melekhov I.S., *Lesnaya pirologiya* (Forest pyrology), M.: Izd-vo MLTI, 1983, 60 p.
- Platonova I.A., *Postpirogennaya transformatsiya nadzemnoi fitomassy v sosnyakakh Selenginskogo srednegor'ya: Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* (Post-pyrolytic transformation of aboveground phytomass in the pine forests of the Selenga middle mountains. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), Krasnoyarsk: Institut lesa SO RAN, 2015, 20 p.
- Prozorov S.S., Sosnovaya pyadenitsa v lesakh Zapadnoi Sibiri (The pine looper in forests of West Siberia), In: *Trudy Sibirskogo lesotekhnicheskogo instituta* (Proceedings of Siberian Institute of Forest), Krasnoyarsk: Izd-vo Sibirskogo lesotekhnicheskogo instituta, 1956, Vol. 12, pp. 13–84.
- Saveland J.M., Using prescribed fire to reduce the risk of large wildfires: A break-even analysis, *Ninth Conference on Fire and Forest Meteorology*, San Diego, CA, Conf. Proc., April 21–24, San Diego, CA.: American Meteorological Society, 1987, pp. 119–122.
- Sobachkin R.S., Kovaleva N.M., Petrenko A.E., Sobachkin D.S., Struktura goryuchikh materialov v sosnyakakh raznogo vozrasta Krasnoyarskoi lesostepi (The structure of forest fuels in variously aged pine woodlands of forest-steppe domain in Krasnoyarsk), *Lesovedenie*, 2017, No. 6, pp. 431–436.
- Spravochnik po klimatu SSSR* (USSR climate data), Leningrad: Gidrometeoizdat, 1967, Vol. 21, Part 2, 504 p.
- Sweaney J.N., *Old burns limit size of fires*, 1985, Proceedings of the symposium and workshop on wilderness fire. USDA Forest Service General Technical Report INT-1, pp. 389.
- Tkachenko M.E., *Ochistka lesosek* (The cleaning of cutting areas), Moscow, Leningrad: Sel'kolkhozizdat, 1931, 112 p.
- Tsvetkov P.A., Zapasy goryuchikh materialov v lesakh severo-vostoka Evenkii (Pool of fuels in forests of northeastern Evenkia), *Lesnoe khozyaistvo*, 2001, No. 4, pp. 33–35.
- Tyurin A.V., *Osnovy khozyaistva v sosnyakh lesakh* (The basics of farming in pine forests), Moscow: Novaya derevnya, 1925, 144 p.
- Valendik E.N., Brissette J.C., Kisilyakhov Ye.K., Lasko R.J., Verkhovets S.V., Eubanks S.T., Kosov I.V., Lantukh A.Yu., An experimental burn to restore moth-killed boreal a conifer forest, Krasnoyarsk region, Russia, *Mitigation & Adaptation Strategies for Global Change*, 2006, Vol. 11, No. 4, pp. 883–896.
- Valendik E.N., Goldammer J.G., Kisilyakhov Y.K., Ivanova G.A., Verkhovets S.V., Bryukhanov A.V., Kosov I.V., Byambasuren O., and the Firescan Science Team, *Prescribed burning in Russia and neighbouring temperate-boreal Eurasia*, Remagen: Kessel Publishing House, 2013, 324 p.
- Valendik E.N., Lasko R.J., Kisilyakhov Ye.K., Ivanova G.A., Perevoznikova V.D., Verkhovets S.V., Prescribed fire for managing Siberian Forests, *Wildfire*, 1997, Vol. 6, No. 8, pp. 29–32.
- Valendik E.N., Upravlyaemyi ogon' v lesnom khozyaistve Sibiri (Controlled fire in Siberia forestry), *Lesnoe khoz-vo*, 1998, No. 4, pp. 12–19.
- Valendik E.N., Vekshin V.N., Ivanova G.A., Kisilyakhov Y.K., Perevoznikova V.D., Brukhanov A.V., Bychkov V.A., Verkhovets S.V., *Kontroliruemye vyzhiganiya na vyrubkakh v gornykh lesakh* (Prescribed burning of logged mountain forest sites), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2001, 172 p.
- Valendik E.N., Vekshin V.N., Verkhovets S.V., Zabelin A.I., Ivanova G.A., Kisilyakhov E.K., *Upravlyaemyi ogon' na vyrubkakh v temnokhoivnykh lesakh* (Guided fire in clearings in coniferous forests), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2000, 209 p.
- Valendik E.N., Verkhovets S.V., Kisilyakhov E.K., Kosov I.V., Tyul'panov N.A., Lantukh A.Yu., Tekhnologii vyzhiganiya shelkopryadnikov (The technologies of silkworm burning), In: *Regional'nye problemy ekosistemnogo lesovodstva (Regional problems of ecosystem forestry)* Krasnoyarsk: Institut lesa SO RAN, 2007, pp. 246–250.
- Van Wagner C.E., The line intersect method in forest fuel sampling, *Forest Science*, 1968, Vol. 14, No. 1, pp. 20–26.
- Van Wagendonk J.W., Lutz, J.A., Fire regime attributes of wildland fires in Yosemite National Park, USA, *Fire Ecology*, 2007, Vol. 3, No. 2, pp. 34–52.
- Weaver H., Fire and management problems in ponderosa pine, *Tall Timbers Fire Ecology Conference*, 1964, No. 3, pp. 61–79.
- Zapevalov A.V., Kisilyakhov E.K., Poslepozharnaya regeneratsiya lesnykh goryuchikh materialov v sosnyakakh Krasnoyarskoi lesostepi (Post-fire recovery of forest fuels in pine forests of Krasnoyarsk forest-steppe), In: *Botanicheskie issledovaniya v Sibiri (Botanical studies in Siberia)* Krasnoyarsk: Polikom, 2010, Vol. 18, pp. 74–77 (212 p.).
- Zhila S.V., *Transformatsiya fitomassy v svetlokhvoivnykh nasazhdeniyakh Nizhnego Priangara'ya pod vozdeistviem pozharov: Avtoref. diss. ... kand. biol. nauk* (Phytomass transformation in light coniferous stands of the Lower Angara region under the influence of fires. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), Krasnoyarsk: Institut lesa SO RAN, 2013, 20 p.