

Г. А. Иванова^{1✉}, В. А. Иванов^{1,2}, Е. А. Кукавская¹, П. Д. Третьяков¹

Мониторинг воздействия пожаров разной интенсивности на древостой сосняков Средней Сибири

¹Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН ФИЦ КНЦ СО РАН,
г. Красноярск, Российская Федерация

²Сибирский государственный университет науки и технологий,
г. Красноярск, Российская Федерация
e-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru

Аннотация. Проведены исследования и мониторинг воздействия низовых пожаров разной интенсивности на древостой в сосняках кустарничково-лишайниково-зеленомошных Средней Сибири. Рассмотрены факторы, влияющие на послепожарный отпад деревьев в сосняках после воздействия пожаров разной интенсивности. Выявлена тесная связь величины послепожарного отпада деревьев с интенсивностью и скоростью распространения пожара, глубиной прогорания и сгоревшим запасом лесных горючих материалов, а также с факторами, влияющими на высыхание лесных горючих материалов и возможность их горения, а также на интенсивность пожара. Применение множественного регрессионного анализа позволило оценить степень влияния факторов среды и интенсивности пожара на послепожарный отпад деревьев в сосняках.

Ключевые слова: лесной пожар, отпад деревьев, сосняки, Средняя Сибирь

G. A. Ivanova^{1✉}, V. A. Ivanov^{1,2}, E. A. Kukavskaya¹, P. D. Tretyakov¹

Monitoring the impact of fires of varying intensity on stands of pine forests in Central Siberia

¹V. N. Sukachev Institute of Forest SB RAS FRC KSC SB RAS, Krasnoyarsk, Russian Federation

²Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation
e-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru

Annotation. Studies and monitoring of the impact of fires of varying intensity on the stands of pine forests in Central Siberia have been carried out. The factors influencing the post-fire trees mortality in pine forests after exposure to fires of varying intensity are considered. A close relationship has been revealed between the post-fire loss of trees and the intensity and speed of fire spread, the depth of burning and the burnt reserve of forest combustible materials, as well as with factors affecting the drying of forest combustible materials and the possibility of their burning, as well as the intensity of the fire. The use of multiple regression analysis made it possible to assess the degree of influence of environmental factors and fire intensity on the post-fire loss of trees in pine forests.

Keywords: forest fire, falling trees, pine forests, Central Siberia

Введение

Важную роль лесных пожаров в формировании растительности Сибири неоднократно отмечали многие исследователи [1 - 4]. На степень повреждения древостоя при пожаре и последующий отпад деревьев оказывают влияние целый ряд

экологических, орографических и климатических факторов [5 - 12], также влияет сила и тип пожара, породный состав, возраст и полнота насаждения, крутизна склона, ветер [13]. В тоже время, исследователи неоднократно отмечали высокую устойчивость сосны к воздействию пожаров [5, 14, 15].

Целью наших исследований являлась оценка воздействия пожаров на древостой и послепожарный отпад деревьев в южнотаежных и среднетаежных сосняках Средней Сибири.

Методы и материалы

Исследования по оценке воздействия пожаров на древостой проводили, в среднетаежных сосняках, произрастающих в бассейне реки Тугулан (60°38' с.ш., 89°41' в.д.) и в южнотаежных сосняках Нижнего Приангарья (58°35' с.ш., 98°55' в.д.). Сосняки кустарничково-лишайниково-зеленомошного типа леса на участках, площадью по 4 га каждый, были пройдены пожарами разной интенсивности [16].

Учет послепожарного отпада деревьев проводили по методике, в основу которой положен метод квадратов, исходящих из одной центральной точки [17]. На каждом участке оценивалось состояние не менее 100 деревьев диаметром 10 см и более. До пожара у выбранного дерева измеряли высоту, диаметр на высоте 1.3 м, высоту до живой части кроны, а также степень заселенности насекомыми. После пожара оценивали высоту нагара на стволе, состояние кроны дерева, наличие пожарной подсушины и обгорание корневых лап. Послепожарный отпад деревьев оценивали по количеству отпавших деревьев в % от общего числа живых деревьев до пожара. Мониторинг отпада деревьев на участках в сосняках проводили в течение 14 лет после пожара.

Результаты

В результате мониторинга, установлено, что через 10 лет в среднетаежных сосняках кустарничково-лишайниково-зеленомошных после пожаров высокой интенсивности отпад деревьев в древостое составил 89,3 %, средней - до 19,4%, низкой – до 11,8% от числа живых деревьев до пожара (табл. 1). В южнотаежных сосняках кустарничково-лишайниково-зеленомошных величина отпада деревьев составила после высокоинтенсивного пожара - 71.1%, среднеинтенсивного – 14.9% от числа живых деревьев до пожара. После низкоинтенсивных пожаров в сосняках отпад деревьев варьировал – от 6.4 до 9.8%. Выявлено, что основной отпад деревьев в сосновых насаждениях происходит в первые три года после пожара.

Таблица 1. Динамика отпада деревьев после пожаров разной интенсивности в сосняках лишайниково-зеленомошных

№№ п/п	Интенсивность пожара	Период после пожара, лет		
		3	7	10 и более
Среднетаежные сосняки				
1	высокая	88.1	89.3	89.3
2	средняя	7.3 - 14.3	8.3 - 16.3	10.4 - 19.4
3	низкая	4.3 - 8.2	4.8 - 10.6	5.3 - 11.8
Южнотаежные сосняки				
4	высокая	70.1	71.1	71.1
5	средняя	14.3	14.3	14.9
6	низкая	4.2 - 5.4	6.4 - 8.7	6.4 - 9.8

Примечание: Отпад деревьев приведен в % от числа живых деревьев до пожара.

Пожары с интенсивностью пожара до 2000 кВт/м отнесены к низкоинтенсивным, от 2001 до 4000 кВт/м - к среднеинтенсивным и более 4000 кВт/м - к высокоинтенсивным [18].

Обсуждение

При пожарах разной интенсивности в сосняках температура при сгорании ЛГМ на поверхности коры ствола в комлевой части дерева достигала 627–732°C, температура под корой дерева в зоне камбия и флоэмы при прохождении кромки огня поднималась от 294 до 486°C в течение 3–4 минут. И после прохождения кромки огня снижение температуры до 50°C продолжалось в течение 5–6 минут [16]. Таким образом, живые ткани ствола подвергались воздействию температур свыше 50°C более 8–10 мин, что по данным Г.И. Гирс [19] вызывает гибель камбия.

В южнотаежных сосняках кустарничково-лишайниково-зеленомошных опал кроны и повреждение хвои разной степени зафиксировано у 98% деревьев при пожарах средней и высокой интенсивности. Повреждение камбия разной степени отмечено у 96 % деревьев при высокоинтенсивном пожаре, у 79 % при среднеинтенсивном и у 34% при низкоинтенсивном пожаре. Установлено наличие связи отпада деревьев после воздействия пожаров низкой и средней интенсивности от их диаметра (коэффициент корреляции 0,88).

Помимо воздействия высоких температур, величина послепожарного отпада деревьев в светлохвойных насаждениях определяется комплексом факторов и параметрами пожара, в числе которых интенсивность пожара, скорость распространения фронта пожара, глубина прогорания и сгоревший запас напочвенных лесных горючих материалов (ЛГМ), запас живого напочвенного покрова. Также имеются факторы, влияющие на высыхание напочвенных горючих материалов и, соответственно, на их сгорание, такие как влажность и температура воздуха, осадки, учитываемые при расчете комплексного показателя пожарной опасности по условиям погоды ПВ-1.

Проведение множественного регрессионного анализа позволило оценить степень влияния вышеприведенных факторов на древостой и на величину отпада деревьев после пожара в сосняках. В таблице 2 приведены коэффициенты корреляции, характеризующие зависимости количества отпада деревьев в сосняках после пирогенного воздействия в зависимости от интенсивности и скорости распространения фронта пожара, от глубины прогорания и сгоревшего запаса ЛГМ, которые непосредственно влияют на отпад деревьев.

Таблица 2. Связь количества послепожарного отпада деревьев с параметрами лесного пожара в сосняках

№ п/п	Факторы	Коэффициент корреляции
1	Интенсивность пожара, кВт/м	0,90
2	Скорость распространения фронта пожара, м/мин	0,83
3	Глубина прогорания ЛГМ, см	0,83
4	Сгоревший запас ЛГМ, г/м ²	0,89

Интенсивность пожара или интенсивность горения на кромке пожара является прямым фактором воздействия на древостой и на послепожарный отпад деревьев (коэффициент корреляции 0,90). При горении выделяется большое количество тепловой энергии, и чем выше интенсивность пожара, тем больше выделяется тепловой энергии, воздействующей на крону, стволы и корни деревьев.

Скорость фронта пожара не является прямым фактором повреждения древостоя, но определяет вид и интенсивность пожара, а также влияет на количество сгоревших ЛГМ и время воздействия высоких температур на дерево. Поэтому этот фактор опосредованно влияет на послепожарный отпад деревьев (коэффициент корреляции 0,83).

Количество сгоревших ЛГМ при пожаре тесно связано с интенсивностью горения и скоростью распространения фронта пожара. Количество выделившейся энергии при сгорании ЛГМ напрямую влияет на древостой и послепожарный отпад деревьев (коэффициент корреляции 0,89).

Величина глубины прогорания слоя напочвенных ЛГМ, включая подстилку, не только характеризует количество сгорающих ЛГМ, но и возможность повреждения корневой системы деревьев, которое приводит к гибели дерева, даже если его ствол не обгорел. Прогорание слоя подстилки до 3-4 см приводит к частичному отпаду деревьев (5-20%), а более 6 см в 100% случаев к значительному отпаду (71,1% и 89,3%).

Установлена тесная связь глубины прогорания слоя и сгоревшего количества ЛГМ с показателем ПВ-1, характеризующим погодные условия, влияющие на высыхание напочвенных ЛГМ, коэффициенты корреляции 0,90 и 0,84, соответственно. Таким есть, значения глубины прогорания слоя напочвенных ЛГМ и

показателя ПВ-1 могут использоваться для прогнозирования не только поведения пожара, но и послепожарного отпада деревьев.

Заключение

Таким образом, в результате длительного мониторинга после низовых пожаров разной интенсивности в сосняках выявлена тесная связь величины послепожарного отпада деревьев с факторами непосредственного воздействия пожара, такими как интенсивность и скорость распространения пожара, глубина прогорания и сгоревший запас ЛГМ, а также с факторами, влияющими на высыхание ЛГМ и возможность их сгорания. Применение множественного регрессионного анализа позволило оценить степень влияния факторов среды и параметров пожара на послепожарный отпад деревьев в среднетаежных и южнотаежных сосняках. Для снижения ущерба от пожаров и потери древесины следует уделять больше внимание профилактическим противопожарным мероприятиям в лесу, таким как контролируемые выжигания, снижающие запасы напочвенных ЛГМ и раннее обнаружение лесных пожаров.

Благодарности

Исследования выполнены при финансовой поддержке госзадания Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН КНЦ СО РАН № FWES -2024-0007, Рег. НИОКТР № 124012900559-4

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Побединский А. В. Сосновые леса Средней Сибири и Забайкалья. - М.: Наука, 1965. - 268 с.
2. Уткин А. И. Влияние огня на природу и формирование лиственничников Центральной Якутии // Лесное хозяйство. 1965. №1. С. 46-51.
3. Фурьев В. В. Роль пожаров в процессе лесообразования. - Новосибирск: Наука, 1996. - 251 с.
4. Буряк Л. В., Каленская О. П., Кукавская Е. А., Лузганов А. Г. Зонально-географические особенности воздействия пожаров на лесообразование светлохвойных насаждений юга Сибири. - Новосибирск: Наука, 2022. - 284 с.
5. Мелехов И. С. Влияние пожаров на лес. - М.- Л.: Гослестехиздат, 1948. - 126 с.
6. Мелехов И. С. О закономерностях в периодичности горимости лесов // Сборник работ по лесному хозяйству и лесохимии. - Архангельск: Северо-западное книжное издательство, 1971. - С. 4-26.
7. Молчанов А. А. Влияние лесных пожаров на древостои // Труды Института леса АН СССР. Т.16. - М.: АН СССР, 1954. - С. 314-335.
8. Софронов М. А. Лесные пожары в горах Южной Сибири. - М.: Наука, 1967. - 150 с.
9. Шубин Д. А., Залесов С. В. Послепожарный отпад деревьев в сосновых насаждениях Приобского водоохранного сосново-березового лесохозяйственного района Алтайского края // Аграрный вестник Урала. 2013. № 5 (111). С. 39-41.
10. Adámek M., Hadincová V., Wild J. Long-term effect of wildfires on temperate *Pinus sylvestris* forests: Vegetation dynamics and ecosystem resilience // Forest Ecology and Management. 2016. V. 380. P. 285-295.
11. Bottero A., D'Amato A. W., Palik B. J., Kern C. C., Bradford J. B., Scherer S. S. Influence of repeated prescribed fire on tree growth and mortality in *pinus resinosa* forests, Northern Minnesota // Forest Science. 2017. V. 63. Iss. 1. P. 94-100.

12. Reinhardt E. D., Keane R. E., Brown J. K. Modeling fire effects // International Journal of Wildland Fire. 2001. Vol. 10. N 3- 4. P. 373-380.
13. Воинов Г. С., Софронов М. А. Прогнозирование отпада в древостоях после низовых пожаров // Современные исследования типологии и пирологии леса. -Архангельск: АИЛиЛх. 1976. С. 115-121.
14. Балбышев И. Н. Сравнительная пожароустойчивость лесных пород таежной зоны // Лесные пожары и борьба с ними. - М.: Изд-во АН СССР. 1963. С. 114-136.
15. Санников С. Н. Экология и география естественного возобновления сосны обыкновенной. - М.: Наука. 1992. - 264 с.
16. Иванова Г. А., Иванов А. В. Пожары в сосновых лесах Средней Сибири. Новосибирск: Наука, 2015. 240 с.
17. Cottam G., Curtis J. T. The use of distance measures in phytosociological sampling // Ecology. 1956. V. 37. P. 451-460.
18. McRae, D. J., Conard S. G., Ivanova G. A. et all. Variability of Fire Behavior Fire Effects and Emissions in Scotch Pine Forests of Central Siberia //Mitigation and Adaptation Strategies for Global Cnange. 2006. Vol. 11 №1. P. 45-74.
19. Гирс Г. И. Физиологические аспекты устойчивости хвойных растений к огневым воздействиям // Проблемы лесоведения в Сибири. М.: Наука. 1977. С.148-159.

© Г. А. Иванова, В. А. Иванов, Е. А. Кукавская, П. Д. Третьяков, 2026