

630*431

ПОЖАРОУСТОЙЧИВОСТЬ СОСНОВЫХ ДРЕВОСТОЕВ НА СЕВЕРЕ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

© 2019 г. О. Н. Тюкавина^а, *, П. А. Феклистов^а

^аСеверный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,
Набережная Северной Двины, 17, Архангельск, 163002 Россия

*E-mail: o.tukavina@narfu.ru

Поступила в редакцию 20.04.2018 г.

После доработки 27.09.2018 г.

Принята к публикации 05.06.2019 г.

Пожароустойчивость сосновых древостоев, выраженная долей жизнеспособных деревьев, позволяет охарактеризовать экологическую и экономическую ценность постпирогенных древостоев и рационально использовать потенциальный сырьевой ресурс, имеющий эксплуатационное значение. Целью работы являлась оценка пожароустойчивости сосновых древостоев севера Архангельской области, пройденных низовыми пожарами различной интенсивности. Временные пробные площади заложены в сосняках черничных, брусничных, вересковых и лишайниковых Архангельского лесничества северо-таежного лесного района европейской части Российской Федерации и Мезенского лесничества района притундровых лесов и редкостойной тайги Европейско-Уральского региона. Пожароустойчивость сосновых древостоев оценивали по проценту жизнеспособных деревьев. К жизнеспособным относили деревья, сохранившие активный ассимиляционный аппарат более 30% кроны. Не выявлено существенных различий последствий пожара в брусничном и черничном типе леса при одинаковой высоте нагара и в пределах класса возраста, поэтому пробные площади данных типов леса рассматривали комплексно для выявления закономерностей влияния низовых пожаров на жизнеспособность сосны. Процент жизнеспособных деревьев в древостоях, пройденных низовыми пожарами, зависит от высоты нагара ($r = -0.86$), возраста древостоя ($r = 0.49-0.77$), среднего диаметра стволов ($r = 0.70-0.83$), полноты древостоя. Выявлены критические показатели высоты нагара для разных возрастных групп и изменение численности жизнеспособных деревьев в связи с этим показателем. Обоснована комплексность показателей, используемых для оценки пожароустойчивости сосновых древостоев, пройденных низовыми пожарами: средней высоты нагара и среднего диаметра древостоя. С использованием средней высоты нагара и среднего диаметра древостоя составлена модель пожароустойчивости сосновых древостоев, пройденных низовыми пожарами.

Ключевые слова: сосновый древостой, низовой пожар, процент жизнеспособных деревьев, высота нагара, средний диаметр древостоя.

DOI: 10.1134/S0024114819060111

Формирование лесов и пространственное распределение их по территории происходят под прямым и косвенным пирогенным воздействием (Мелехов, 1948; Фуряев, 1996; Цветков, 2013; Adámek et al., 2016). Одним из наиболее важных последствий пожаров прошлого является широкое распространение в северных лесах сосны и лиственных пород деревьев. Пожары обеспечивают сохранение сосны как биологического вида (Сукачев, 1938; Ткаченко, 1923). В современном мире лесные пожары из естественного природного фактора превратились в катастрофическое явление, основной причиной которого является антропогенная нагрузка (Кузнецов, Барановский, 2009). Несмотря на предпринимаемые усилия в плане противопожарного устройства, совершенствования противопожарной техники и способов

тушения, показатели фактической горимости лесов не снижаются, а лишь имеют колебания по годам (Залесов, 2013; Шубин и др., 2013б). Численность пожаров и их повторяемость на отдельных участках возрастают, что влечет за собой негативные экологические последствия и наносит ущерб лесному хозяйству, а также связанным с ним отраслям экономики (Казанцева, 2014).

В настоящее время в России на светлохвойные насаждения с преобладанием лиственницы и сосны приходится основная доля пройденной огнем площади (Krylov et al., 2014). Сосновые насаждения отличаются повышенной горимостью по сравнению с насаждениями других формаций, произрастающих в аналогичных условиях (Залесов, 2013). Жизнеспособными древостой сосны остаются только после низовых пожаров (Меле-

хов, 1948; Вакуров, 1975; Каницкая, 2013). Около 80% всех пожаров относятся к низовым (Вакуров, 1975), а по данным А.Д. Думнова с соавторами (2005) эта величина составляет 97%. Низовые пожары слабой интенсивности уничтожают сухой, неблагонадежный подрост, оставшие в росте деревья, осуществляя тем самым “рубки ухода” по низовому методу (Каницкая, 2013; Арцыбашев, 2014), предотвращают пожары сильной интенсивности (Leys et al., 2014; Battipaglia et al., 2016; Clyatt et al., 2017) и повышают устойчивость деревьев (Hood et al., 2016; Bottero et al., 2017). Несмотря на то, что часть растущих деревьев ослабляется пожарными травмами, а в кронах — насекомыми, даже 50-летние сосняки с незначительным числом жизнеспособных деревьев, сохранившихся после низового пожара, можно рассматривать как потенциальный сырьевой ресурс, имеющий эксплуатационное значение (Каницкая, 2013). Величина экономического ущерба от лесных пожаров во многом зависит от своевременности проведения лесохозяйственных мероприятий на пройденных ими площадях (Луганский и др., 1995; Залесов, Луганский, 2002; Залесов, 2013; Хабибуллин и др., 2016). Выбор и целесообразность проведения сплошнолесосечных и выборочных санитарных рубок, пожароустойчивость, жизнеспособность хвойных насаждений определяют по величине послепожарного отпада (Мелехов, 1954; Молчанов, 1968; Вакуров, 1975; Мониторинг ..., 2002; Каницкая, 2013; Марченко, Залесов, 2013; Шубин и др., 2013 а; Шубин и др., 2013 б). Это обусловлено тем, что не составляет сложности выявить погибшие деревья, в отличие от диагностики жизнеспособности деревьев по внешним признакам (Гриднев, Царанлунга, 2012). Это затрудняет решение главного для лесохозяйственной практики вопроса — оставлять поврежденные огнем древостои для дальнейшего дорастивания или заменять их новыми насаждениями (Демаков, 2000). Оценка выживаемости деревьев, выраженная числом жизнеспособных деревьев, позволяет охарактеризовать экологическую и экономическую ценность постпирогенных дендроценозов и обоснованно подойти к выбору необходимых лесохозяйственных мероприятий, предотвратить возможные убытки.

Для прогноза пожароустойчивости древостоев необходимо выявить простые, комплексные, универсальные показатели. Высота нагара является важным диагностическим признаком жизненного состояния постпирогенных древостоев. С высотой нагара связана степень повреждения луба в нижней части ствола дерева (Цветков, 2006) и увеличение размера длины пожарной подсушины (Каницкая, 2013). Наружный нагар коры часто указывает на поражение камбия (Каницкая, 2013). Состояние камбия деревьев сосны, испытавших воздействие открытого огня, имеет

прямую, значительную корреляционную связь с величиной нагара на стволе (Гриднев, Царанлунга, 2012). Таким образом, высота нагара на стволах деревьев — показатель, который учитывает состояние камбия и луба. Кроме этого, нагар может косвенно отрицательно влиять на восстановление жизнеспособности деревьев после пожара в связи с повышением теплоемкости черной от нагара коры (Гирс, 1977; Цветков, 2006). Однако высота нагара на стволах является надежным объективным показателем послепожарной устойчивости деревьев только при учете других показателей: диаметра на высоте 1.3 м (Исангулов, Габдрахимов, 2012; Цветков, 2013; Шубин, Залесов, 2013; Шубин и др., 2013 б; Хаббибуллин и др., 2016); процента повреждения хвои (Демаков, 2000; Цветков, 2006; Исангулов, Габдрахимов, 2012), степени повреждения луба, камбия (Демаков, 2000; Цветков, 2006; Гриднев, Царанлунга, 2012; Каницкая, 2013). Оценка некоторых показателей трудоемка, субъективна или узко специфична. Весьма актуально выявление небольшого числа (два—три) комплексных показателей, позволяющих оперативно оценить жизненное состояние древостоя.

Целью исследования являлась оценка пожароустойчивости сосновых древостоев севера Архангельской области, пройденных низовыми пожарами различной интенсивности.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Исследовали сосновые насаждения, пройденные низовыми пожарами различной силы, северо-таежного лесного района европейской части Российской Федерации и района притундровых лесов и редкостойной тайги Европейско-Уральского региона. С целью установления степени устойчивости древостоев сосны к пожарам заложено 33 пробных площади в сосняках черничных, брусничных, вересковых, лишайниковом (табл. 1). Пробные площади (пр. пл.) 1—6 и 31—33 расположены в Архангельском лесничестве, пр. пл. 7—30 — Мезенском лесничестве. Насаждения пр. пл. № 1, 4, 7, 9—11, 19, 25, 27—30, 32 пройдены низовым пожаром сильной интенсивности; пр. пл. № 6, 8, 12—14, 16, 18, 20, 21, 23, 24, 26, 31, 33 — низовым пожаром средней интенсивности; пр. пл. № 2, 3, 5, 15, 17, 22 — низовым пожаром слабой интенсивности.

Временные пробные площади закладывались в соответствии с общепринятыми методиками В.Н. Сукачева, С.В. Зонна (1961), таксация древостоев проводилась по методикам, описанным Н.П. Ануциным (1982). Размер пробных площадей варьировал, но основным критерием являлось наличие на них не менее 200 деревьев главной породы. Классификация пройденных пожарами площадей выполнена с учетом методических рекоменда-

Таблица 1. Таксационная характеристика сосновых древостоев на пробных площадях

| № пр. пл. | Тип леса | Состав | Возраст древостоя, лет | Средние | | Полнота относительная | Класс бонитета | Запас древесины на 1 га | | Давность пожара, лет |
|-----------|--------------|--------------|------------------------|-------------|-----------|-----------------------|----------------|-------------------------|-------|----------------------|
| | | | | диаметр, см | высота, м | | | сырораствущей | сухой | |
| 1 | Брусничный | 10С | 135 | 25.8 | 20.2 | 0.52 | 4 | 23 | 194 | 2 |
| 2 | Брусничный | 10С | 235 | 29.3 | 22.8 | 0.63 | 3 | 234 | 19 | 2 |
| 3 | Брусничный | 10С | 45 | 9.1 | 8.9 | 0.42 | 4 | 83 | 13 | 2 |
| 4 | Брусничный | 10С | 115 | 15.3 | 13.7 | 0.29 | 5 | 3 | 65 | 3 |
| 5 | Брусничный | 10Сед.Лц | 225 | 36.9 | 21.6 | 0.25 | 4 | 109 | 4 | 3 |
| 6 | Брусничный | 10С ед.ЛцБ | 85 | 20.7 | 19.1 | 0.54 | 3 | 149 | 19 | 2 |
| 7 | Брусничный | 10С | 85 | 15.1 | 16.5 | 0.58 | 4 | 75 | 94 | 2 |
| 8 | Брусничный | 10Сед.Б | 50 | 12.3 | 10.7 | 0.38 | 4 | 63 | 6 | 2 |
| 9 | Брусничный | 10С | 50 | 7.9 | 7.3 | 0.44 | 5 | 6 | 72 | 2 |
| 10 | Брусничный | 10С | 85 | 20.9 | 16.2 | 0.36 | 4 | 86 | 12 | 2 |
| 11 | Брусничный | 10Сед.Лц | 85 | 21.0 | 15.5 | 0.32 | 4 | 2 | 63 | 2 |
| 12 | Вересковый | 10Сед.БЛц | 95 | 21.2 | 16.3 | 0.37 | 4 | 101 | 3 | 2 |
| 13 | Черничный | 10С+Б | 85 | 13.6 | 13.3 | 0.71 | 5 | 166 | 23 | 2 |
| 14 | Черничный | 10Сед.Б | 45 | 7.1 | 7.7 | 0.74 | 5 | 43 | 75 | 2 |
| 15 | Брусничный | 10С | 125 | 17.8 | 12.6 | 0.48 | 5а | 101 | 3 | 2 |
| 16 | Черничный | 10С | 165 | 17.6 | 13.5 | 0.91 | 5 | 186 | 27 | 2 |
| 17 | Вересковый | 10С | 165 | 18.5 | 15.5 | 0.46 | 5 | 118 | 5 | 2 |
| 18 | Вересковый | 10С | 65 | 13.4 | 8.5 | 0.41 | 5 | 65 | 2 | 2 |
| 19 | Брусничный | 6Е2Б2С | 135 | 13.5 | 10.5 | 0.46 | 5а | 3 | 101 | 2 |
| 20 | Брусничный | 10Сед.Б | 138 | 21.9 | 18.3 | 0.60 | 4 | 162 | 18 | 3 |
| 21 | Брусничный | 9С1Лц ед.Б | 83 | 20.0 | 15.2 | 0.49 | 4 | 119 | 17 | 3 |
| 22 | Брусничный | 6С3Б1Лц | 96 | 19.3 | 18.9 | 0.70 | 4 | 229 | 11 | 3 |
| 23 | Лишайниковый | 10С+Б | 95 | 25.6 | 17.6 | 0.29 | 4 | 109 | 2 | 3 |
| 24 | Брусничный | 10С | 101 | 16.7 | 15.8 | 0.72 | 5 | 184 | 6 | 3 |
| 25 | Брусничный | 10С | 72 | 20.3 | 16.6 | 0.56 | 3 | 11 | 97 | 3 |
| 26 | Брусничный | 10С | 100 | 18.1 | 15.2 | 0.62 | 5 | 142 | 5 | 3 |
| 27 | Брусничный | 9С1Лц+Б | 79 | 19.4 | 15.2 | 0.45 | 4 | - | 168 | 3 |
| 28 | Черничный | 9С1Лц ед.БЕ | 163 | 30.8 | 18.3 | 0.62 | 5 | 180 | 15 | 3 |
| 29 | Брусничный | 10С | 81 | 15.1 | 13.2 | 0.68 | 5 | 3 | 125 | 3 |
| 30 | Брусничный | 10С | 95 | 16.4 | 13.0 | 0.63 | 5 | 84 | 34 | 3 |
| 31 | Черничный | 10С+Бед.ЕЛц | 219 | 37.2 | 22.0 | 0.49 | 4 | 165 | 11 | 3 |
| 32 | Черничный | 10С+Б ед.Е | 176 | 24.3 | 16.5 | 0.71 | 5 | 150 | 44 | 3 |
| 33 | Брусничный | 7С2Б1Лц ед.Е | 78 | 18.2 | 15.0 | 0.52 | 4 | 138 | 14 | 3 |

Примечание. В формуле древостоя: С – сосна, Лц – лиственница, Е – ель, Б – береза.

ций И.С. Мелехова (1983). На всех пройденных огнем площадях устанавливался год и вид пожара, вид гари или горельника по классификации И.С. Мелехова (1983). В связи с тем, что показателем силы прошедшего пожара на протяжении многих лет после него является высота нагара на стволах (Мелехов, 1948; Романов, 1968; Вакуров, 1975; Феклистов и др., 1997; Калинин, 2002; Шубин и др., 2013 б), интенсивность пожара оценивали по данному показателю. При сплошном перечете деревья подразделяли по породам, ступеням толщины и относили к следующим категориям: жизнеспособные, сомнительные (усыхающие), усохшие в результате пожара, сухостой. Категорию “усыхающие или сомнительные” присваивали деревьям с пожелтением хвои более 70% кроны, исходя из рекомендаций А.Д. Вакурова (1975), В.А. Алексеева (1990). К жизнеспособным деревьям относили деревья, сохранившие активный ассимиляционный аппарат от 30% и выше. Таким образом, учитывали состояние кроны – один из важнейших диагностических признаков в оценке жизненного состояния деревьев (Воронцов, 1978; Алексеев, 1990; Демаков, 2000; Тихонова и др., 2009; Данчева, Залесов, 2016), который рекомендуется использовать спустя 2 года и более после пожара, когда пирогенные травмы сказываются на внешнем виде крон деревьев (Демаков, 2000; Nilsson, Duinker, 1987).

У деревьев измеряли высоту нагара с наветренной и заветренной сторон ствола с точностью 0.05 м.

Пожароустойчивость сосны оценивали по проценту жизнеспособных деревьев в насаждении, пройденном низовым пожаром.

При обработке данных пользовались пакетом Microsoft Office Excel 2010 и Statistica 6.0. Модель пожароустойчивости сосновых древостоев построена с помощью программы TableCurve 3D.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Доля жизнеспособных деревьев сокращается с увеличением средней высоты нагара. Теснота корреляционной связи между данными показателями обратная высокая значимая ($r = -0.86$ при $t = 18.8$). Данная зависимость прослеживается и в сосняке черничном ($r = -0.87$ при $t = 15.4$), и в сосняке брусничном ($r = -0.82$ при $t = 8.1$). Сосняки вересковые и лишайниковые встречались со стабильной высотой нагара около 1 м. Высокая корреляционная зависимость подтверждает мнение авторов (Маслов и др., 1973; Савченко, 1982; Залесов, Луганский, 2002; Исангулов, Габдрахимов, 2012; Цветков, 2013), что нагар является одним из важных диагностических признаков жизненного состояния древостоев после прохождения пожаров. Стоит отметить, что анализируется влияние низовых пожаров, поскольку высота на-

гара на стволах деревьев не может использоваться для прогноза их выживания при повреждении корней, которое наблюдается при торфяных пожарах (Демаков, 2000; Каницкая, 2013; Хаббибулин и др., 2016), гибели листвы в процессе верховых пожаров (Каницкая, 2013).

Выживаемость деревьев в разных типах леса рассмотрим при наиболее часто встречающихся средней высоте нагара около 1 м и возрасте древостоев 80–95 лет. Процент жизнеспособных деревьев в сосняке черничном составляет 73.5 ± 3.5 , сосняке брусничном – 79.5 ± 6.5 , сосняке вересковом – 85.0 ± 1.0 , сосняке лишайниковом – 98. Отмечается тенденция возрастания числа жизнеспособных деревьев от сосняка черничного к сосняку лишайниковому. Это согласуется с ранее полученными данными для других регионов. Так, например, отмечалось, что повреждаемость древостоев пожарами определяется типом леса за счет глубины расположения в почве корневой системы (Залесов, 2013), счет накопления горючего материала под пологом древостоя (Вакуров, 1975). В сосняке черничном по сравнению с сосняком брусничном абсолютно сухая масса напочвенных горючих материалов выше на 57% (Вакуров, 1975). Но даже в насаждениях одного типа леса, отличающихся по таксационным показателям, пирологическая характеристика напочвенного покрова будет различаться (Волокитина, 1999). Однако при одинаковой высоте нагара различие средних значений доли жизнеспособных деревьев между сосняком черничным и сосняком брусничным, сосняком брусничным и сосняком вересковым не значимо. Различие в данном показателе между сосняком черничным и сосняком вересковым достоверно. Следовательно, существенных различий последствий пожара в брусничном и черничном типах леса при одинаковой высоте нагара и в пределах класса возраста не выявлено и пробные площади данных типов леса можно рассматривать комплексно для выявления закономерностей влияния низовых пожаров на жизнеспособность сосны. Высота нагара – комплексный показатель для древостоя, отражающий количество горючих материалов, их состояние, условия, складывающиеся в конкретных насаждениях с определенными лесоводственно-таксационными показателями, все факторы, влияющие на развитие и силу пожара.

Следующими факторами, влияющими на долю жизнеспособных деревьев в постпирогенном древостое, являются средний возраст и средний диаметр древостоя. На вторичность этих факторов указывает умеренная не достоверная корреляционная зависимость доли жизнеспособных деревьев от среднего диаметра и возраста древостоя ($r = 0.40$ при $t = 2.7$ и $r = 0.37$ при $t = 2.5$ соответственно) при анализе данных без учета интенсивности пожара. При выделении выборок со

Таблица 2. Зависимость пожароустойчивости сосновых древостоев от среднего возраста и среднего диаметра

| Показатель корреляционного анализа | Средняя высота нагара на стволах, м | | | | | |
|--|-------------------------------------|-------------|--------------|-------------|---------------|-------------|
| | 1 (до 1.4) | | 2 (1.5–2.4) | | 3 (более 2.5) | |
| | возраст, лет | диаметр, см | возраст, лет | диаметр, см | возраст, лет | диаметр, см |
| r | 0.49 | 0.70 | 0.77 | 0.81 | 0.58 | 0.83 |
| m_r | 0.15 | 0.10 | 0.08 | 0.07 | 0.13 | 0.06 |
| t | 3.2 | 7.0 | 9.45 | 11.8 | 4.3 | 13.2 |
| η | 0.50 | 0.85 | 0.94 | 0.99 | 0.81 | 0.82 |
| m_η | 0.15 | 0.06 | 0.02 | 0.005 | 0.07 | 0.07 |
| t | 3.3 | 14.9 | 46.2 | 180.4 | 11.6 | 12.5 |

Примечание. r – коэффициент корреляции; m_r – ошибка коэффициента корреляции; t_r – достоверность; η – корреляционное отношение; m_η – ошибка корреляционного отношения; t_η – достоверность.

средней высотой нагара менее 1.4 м, от 1.5 до 2.4 м, более 2.5 м теснота связи процента жизнеспособных деревьев со средним диаметром древостоя прямая высокая значимая (табл. 2). Влияние возраста древостоя на его пожароустойчивость также значимо во всех выборках, но высокая теснота связи отмечается лишь при средней высоте нагара на стволах около 2 м, в остальных случаях изменяется от умеренной до значительной. Следовательно, влияние возраста древостоя на долю жизнеспособных деревьев ослабевает при высоте нагара менее 1.5 и более 2.5 м.

Перестойные древостои сосны имеют наибольшую пожароустойчивость. При равных средних высотах нагара на стволах в перестойных насаждениях отмечается наибольший процент жизнеспособных деревьев (рис. 1). Наибольшая средняя высота нагара на стволах, при которой отмечаются единичные жизнеспособные деревья, составляет 5 м. Она встречается в приспевающих, спелых и перестойных древостоях. Отдельные деревья способны переносить высоту нагара на стволах 6 м. В средневозрастных насаждениях максимальная высота нагара на стволах, при которой отмечаются единичные жизнеспособные деревья, составляет 2.5 м. Более половины по числу стволов древостоя остается жизнеспособной при средней высоте нагара стволов в средневозрастных насаждениях менее 1.5 м, приспевающих – менее 2 м, спелых – менее 2.5 м, перестойных – менее 3 м. Влияние возраста древостоя на пожароустойчивость сосны отмечалось рядом авторов (Мелехов, 1935; Вакуров, 1975; Мелехов, 1983; Демаков, 2000; Гриднев, Царанлунга, 2012; Каницкая, 2013; Li et al., 2016). В то же время полученные нами данные конкретизируют критические показатели высоты нагара для разных возрастных групп и изменение числа жизнеспособных деревьев в связи с этим показателем.

В связи с трудоемкостью определения возраста деревьев и древостоев для оценки их пожаро-

устойчивости альтернативным показателем может стать диаметр стволов. Теснота связи среднего диаметра и возраста древостоев по нашим данным высокая значимая ($r = 0.85$ при $t = 16.4$). Диаметр ствола оказывает влияние на пожароустойчивость сосны (Демаков, 2000; Сныткин, 2002; Цветков, 2006; Исангулов, Габдрахимов, 2012; Каницкая, 2013; Шубин и др., 2013 а, б; Михеева и др., 2015). Чем дерево старше, тем больше диаметр ствола и тем толще кора (Мелехов, 1935). Согласно Р.М. Fernandes с соавторами (2012), толщина коры увеличивается в линейном соответствии с диаметром на высоте груди и уменьшается с высотой. Деревья с более толстой корой более устойчивы к огневым повреждениям (Мелехов, 1935; Вакуров, 1975; Fernandes et al., 2008; Каницкая, 2013; Быков, 2015). Велика вероятность гибели деревьев с диаметром на высоте груди менее 10 см после низового пожара (Fernandes et al., 2012). В одном и том же возрасте диаметр дере-

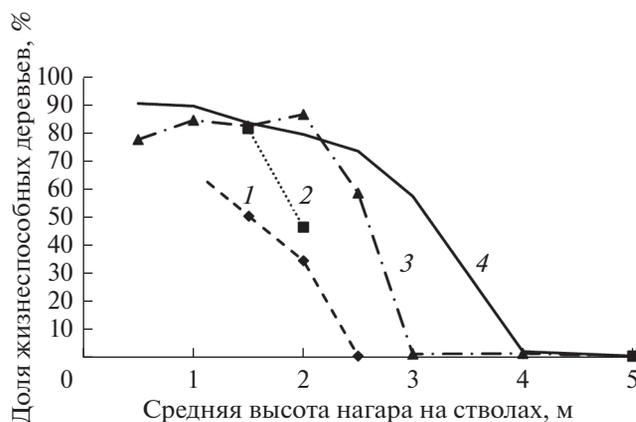


Рис. 1. Зависимость процента жизнеспособных деревьев от средней высоты нагара на столах в сосновых древостоях.

Древостои: 1 – средневозрастные, 2 – приспевающие, 3 – спелые, 4 – перестойные.

вьев и средний диаметр древостоев могут различаться, что определяется качеством условий произрастания деревьев и древостоев и, как следствие, возможностью реализации генетического потенциала дерева. Диаметр древостоя определенной возрастной категории отражает и лесорастительные условия, и полноту древостоя. Так, теснота связи среднего диаметра древостоя и бонитета в средневозрастных насаждениях обратная очень высокая значимая ($r = -0.99$ при $t = 236.4$), в спелых – обратная высокая значимая ($r = -0.77$ при $t = 6.2$), в перестойных – обратная значительная достоверная ($r = -0.69$ при $t = 4.3$). Можно отметить, что с возрастом деревьев теснота связи диаметра древостоя с классом бонитета ослабевает. Зависимость среднего диаметра от относительной полноты древостоя можно выявить, подразделяя выборки по классам бонитета внутри возрастных групп. Так, в перестойных насаждениях 4 класса бонитета теснота связи среднего диаметра древостоя с его полнотой обратная высокая значимая ($r = -0.87$ при $t = 4.0$), 5 класса бонитета – обратная очень высокая значимая ($r = -0.97$ при $t = 64.0$). В спелых насаждениях 4 класса бонитета теснота связи среднего диаметра древостоя с его полнотой обратная значительная достоверная ($r = -0.68$ при $t = 4.0$). Следовательно, в среднем диаметре древостоя заключаются не только возрастные характеристики, но и степень угнетенности деревьев. Чем сильнее дерево угнетено, тем более тонкая кора, а, следовательно, и меньшая защита флоэмных тканей и камбиального слоя от перегрева (Гирс, 1982). Стволы здоровых деревьев благодаря большей скорости водного тока и значительной теплоемкости, противостоят нагревающему действию окружающего воздуха намного эффективнее, чем стволы ослабленных и тем более усыхающих деревьев (Карасев, Карасева, 2004; Valor et al., 2015). Большая скорость водного тока препятствует прогреванию ствола и снижению влажности заболони. В результате гибель деревьев низшего ранга (угнетенных) наступает даже при небольшом огневом воздействии (Демаков, 2000; Михеева и др., 2015; Хабибуллин и др., 2016). Так, при одной и той же интенсивности пожара (средней высоте нагара) в насаждениях с меньшей полнотой пожароустойчивость древостоя (постпирогенный процент жизнеспособных деревьев) выше. При средней интенсивности пожара теснота связи между данными показателями обратная высокая значимая ($r = -0.71$ при $t = 5.3$). Следовательно, чем выше полнота древостоя, тем больше деревьев, испытывающих угнетение в процессе внутривидовой конкуренции, и тем больше отпад при одинаковой интенсивности пожара.

Таким образом, средний диаметр дерева более предпочтителен при оценке пожароустойчивости древостоя в отличие от его возраста, так как является комплексным показателем древостоя, отра-

жающим основные таксационные характеристики, лесорастительные условия и физиологические возможности деревьев.

Следовательно, для прогноза процента жизнеспособных деревьев после прохождения низовых пожаров можно использовать небольшой набор простых комплексных показателей: средняя высота нагара на стволах и средний диаметр древостоя. Средняя высота нагара отражает силу пожара, обусловленную его продолжительностью, климатическими факторами и лесоводственно-таксационной характеристикой насаждения. Средний диаметр стволов отражает физиологические, биологические особенности деревьев и условия их произрастания. Процент жизнеспособных деревьев в сосновом древостое можно оценить по регрессионному уравнению:

$$Z = 135.614 - 19.250x - 0.625x^2 - 515.042y^{-1},$$

$$R^2 = 0.883,$$

где Z – процент жизнеспособных деревьев, %; x – средняя высота нагара ствола, м; y – средний диаметр ствола на высоте 1.3 м, см; R^2 – коэффициент детерминации.

Модель пожароустойчивости сосновых древостоев построена при условиях $0.4 \leq x \leq 5.4$; $6.9 \leq y \leq 35.4$. Высокий коэффициент детерминации 0.88 свидетельствует, что 88% жизнеспособных деревьев изменяется в зависимости от диаметра и высоты нагара и только 12% объясняется другими причинами.

Модель адекватно оценивает выявленную зависимость, коэффициенты достоверны: $a = 135.614$ имеет доверительный интервал 115.764–155.464, $p = 0.00000$; $b = -19.250$ имеет доверительный интервал – 35.073–3.428, $p = 0.01882$; $c = -0.625$ имеет доверительный интервал – 3.312–2.062, $p = 0.63783$; $d = -515.042$ имеет доверительный интервал – 692.001–338.084, $p = 0.00000$.

Согласно модели пожароустойчивости сосновых древостоев с увеличением среднего диаметра древостоя и уменьшением средней высоты нагара доля жизнеспособных деревьев возрастает (рис. 2).

Заключение. Оценка устойчивости сосняков севера Архангельской области к низовым пожарам через долю жизнеспособных деревьев позволит оценить их экологическую и экономическую ценность, выявить потенциальный сырьевой ресурс и принять обоснованный выбор лесохозяйственных мероприятий. Особенно это актуально в связи с подверженностью лесов Севера пожарам, а древесина постпирогенных древостоев может служить сырьем для активно развивающейся по всему миру биоэнергетики.

Пожароустойчивость сосняков черничных, брусничных, вересковых и лишайниковых Архангельского лесничества северо-таежного лесно-

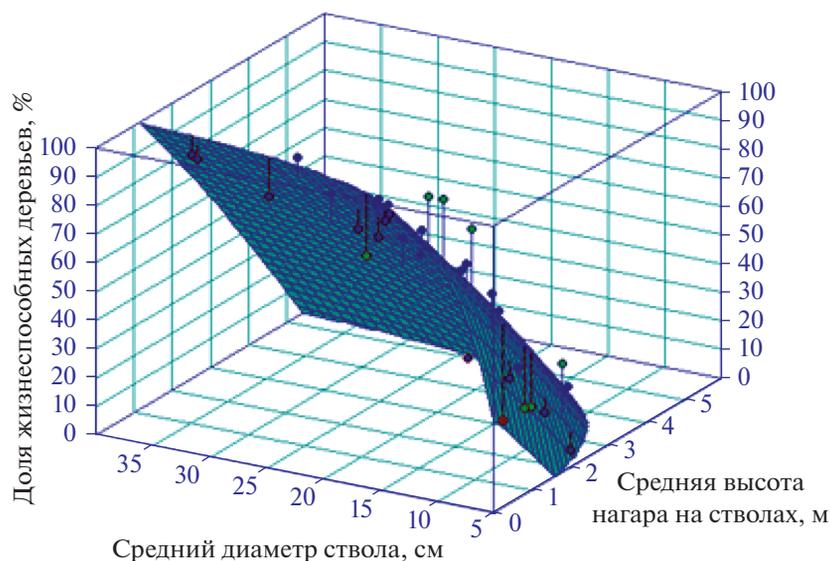


Рис. 2. Зависимость процента жизнеспособных деревьев в насаждениях, пройденных низовыми пожарами, от средней высоты нагара и среднего диаметра ствола

го района европейской части Российской Федерации и Мезенского лесничества района притундровых лесов и редкостойной тайги Европейско-Уральского региона зависит от средней высоты нагара на стволах. Выявлена обратная высокая значимая теснота связи. При средней высоте нагара около 1 м в древостоях одного класса возраста значение процента жизнеспособных деревьев в сосняках черничном и брусничном находится на одном уровне, что указывает на комплексность показателя средней высоты нагара, включающего в себя и особенности строения насаждения, отражающиеся на накоплении горючих материалов, и характеристики пожара. Следующими по влиянию факторами являются возраст и средний диаметр древостоя. Причем средний диаметр древостоя связан как с его возрастом, так и с относительной полнотой и классом бонитета. Следовательно, средний диаметр древостоя является комплексным показателем, отражающим как условия произрастания, так и биологические и физиологические особенности деревьев. Выделение двух основных комплексных факторов – средней высоты нагара и среднего диаметра ствола – включающих в себя характеристику пожара, насаждения и физиологических особенностей деревьев, позволяет составить модель прогноза доли жизнеспособных деревьев в сосняках черничных и брусничных через 2–3 года после низового пожара.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В.А.* Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. 197 с.
- Анучин Н.П.* Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
- Арцыбашев Е.С.* Влияние пожаров на лесные биогеоценозы // Биосфера. 2014. Т. 6. № 1. С. 53–59.
- Быков Е.В.* Сравнительный анализ воздействия низовых пожаров на сосновые и дубовые пригородные леса // Вестник Волжского университета имени В.Н. Татищева. 2015. № 1 (23). С. 101–104.
- Вакуров А.Д.* Лесные пожары на Севере. М.: Наука, 1975. 100 с.
- Волокитина А.В.* Классификация растительных горючих материалов и методы их картографирования: Дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03. Красноярск. Институт леса им. В.Н. Сукачева, 1999. 452 с.
- Воронцов А.И.* Патология леса. М.: Лесн. пром-сть, 1978. 272 с.
- Гирс Г.И.* Физиологические аспекты устойчивости хвойных растений к огневым повреждениям // Проблемы лесоведения Сибири. М.: Наука, 1977. С. 148–159.
- Гирс Г.И.* Физиология ослабленного дерева. Новосибирск: Наука, 1982. 256 с.
- Гриднев Н.И., Царанлунга В.В.* Зависимость степени повреждения камбия от параметров ожога ствола при низовом пожаре // Воспроизводство, мониторинг и охрана природных, природно-антропогенных и антропогенных ландшафтов: Матер. Междунар. науч. школы (14–15 июля 2012, Воронеж). Воронеж: Изд-во Воронежского гос. лесотех. университета им. Г.Ф. Морозова, 2012. С. 220–224.
- Данчева А.В., Залесов С.В.* Комплексная оценка состояния рекреационных сосняков ГНПП «БУРАБАЙ» по таксационным параметрам крон деревьев // Леса России и хозяйство в них. 2016. № 2 (57). С. 27–34.
- Демаков Ю.П.* Диагностика устойчивости лесных экосистем: методологические и методические аспекты. Йошкар-Ола: Периодика Марий Эл, 2000. 416 с.
- Думнов А.Д., Максимов Ю.И., Рошупкина Ю.В., Аксенова О.А.* Лесные пожары в Российской Федерации. М.: НИИ-Природа, 2005. 229 с.

- Залесов С.В.* Лесная пирология: Учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. лесотехн. университета, 2013. 332 с.
- Залесов С.В., Луганский Н.А.* Повышение продуктивности сосновых лесов Урала. Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. лесотехн. университета, 2002. 331 с.
- Исангулов Ф.С., Габдрахимов К.М.* Пожароустойчивость облесенных крутосклонов Белебеевской возвышенности // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2012. № 2. С. 60–62.
- Казанцева М.Н.* Влияние низовых пожаров на сосняки Нижнего Приишимья // Вестник Тюменского государственного университета. Экология и природопользование. 2014. № 6. Медико-биологические науки. С. 38–45.
- Калинин К.К.* Воздействие крупных пожаров на лесные фитоценозы и система лесохозяйственных мероприятий по ликвидации их последствий: на примере лесных пожаров 1921 и 1972 гг. в лесном Среднем Заволжье: Дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03. Йошкар-Ола. Марийский гос. техн. университет, 2002. 449 с.
- Каницкая Л.В.* Лесная пирология: Учеб. пособие. Иркутск: Изд-во Байкальский гос. университет экономики и права, 2013. 206 с.
- Карасев В.Н., Карасева М.А.* Эколого-физиологическая диагностика жизнеспособности деревьев хвойных пород // Известия высших учебных заведений. Лесной журн. 2004. № 4. С. 28–33.
- Кузнецов Г.В., Барановский Н.В.* Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 301 с.
- Луганский Н.А., Залесова С.В., Шавровский В.А.* Повышение продуктивности лесов: Учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральского гос. лесотехн. университета, 1995. 297 с.
- Марченко В.П., Залесов С.В.* Горимость ленточных боров Прииртышья и пути ее минимизации на примере ГУ ГЛПР “Ертыс орманы” // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 10 (108). С. 55–59.
- Маслов А.Д., Кутеев Ф.С., Прибылова М.В.* Стволовые вредители леса. М.: Лесн. пром-сть, 1973. 144 с.
- Мелехов И.С.* Лесные пожары и борьба с ними. Архангельск: Севкрайгиз, 1934. 52 с.
- Мелехов И.С.* Влияние пожаров на лес. М.; Л.: Гослестехиздат, 1948. 127 с.
- Мелехов И.С.* К типологии концентрированных вырубков в связи с изменениями в напочвенном покрове // Концентрированные рубки в лесах Севера. М.: Изд-во АН СССР, 1954. С. 48–60.
- Мелехов И.С.* Лесная пирология. М.: Изд-во МЛТИ, 1983. 60 с.
- Михеева Н.А., Собачкин Д.С., Косов И.В.* Влияние низовых пожаров на компоненты сосновых насаждений Красноярской лесостепи // Вестник Красноярского гос. аграрного университета, 2015. № 6 (105). С. 226–233.
- Молчанов А.А.* Лес и окружающая среда. М.: Наука, 1968. 247 с.
- Мониторинг сообществ на горях и управление пожарами в заповедниках. М.: ВНИИприроды, 2002. 276 с.
- Романов В.Е.* Определение ущерба от низовых лесных пожаров // Лесное хоз-во. 1968. № 2. С. 36–38.
- Савченко А.Г.* Изучение огнестойкости сосны крымской с целью создания и формирования пожароустойчивых насаждений в Крыму: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. М., 1982. 18 с.
- Сныткин Г.В.* Лесные пожары и борьба с ними на крайнем Северо-Востоке Сибири: Дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03. М.: Московский гос. университет леса, 2002. 315 с.
- Сукачев В.Н.* История растительности СССР во время плейстоцена // Растительность СССР. М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1938. Т. 1. С. 183–234.
- Сукачев В.Н., Зонн С.В.* Методические указания к изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.
- Тихонова И.В., Шабалина О.М., Минакова О.А.* Строевые кроны лиственницы сибирской как комплексный показатель устойчивости деревьев в насаждениях г. Красноярска // Сибирский экологический журнал. 2009. Т. 2. № 5. С. 451–455.
- Ткаченко М.Е.* Задачи лесной политики на Севере // Сельское и лесное хозяйство Севера: Матер. совещ. по изучению Севера при Российской академии наук. Петроград: Новая деревня, 1923. С. 112–135.
- Феклистов П.А.* Экологические закономерности роста северотаежных сосняков как теоретическая основа повышения продуктивности и рационального использования: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 060303. Екатеринбург: Уральская гос. лесотехническая академия, 1997. 40 с.
- Фуряев В.В.* Роль пожаров в процессе лесообразования. Новосибирск: Наука, 1996. 253 с.
- Хабибуллин А.Ф., Платонов Е.Ю., Эфа Д.Э.* Пожароустойчивость сосны обыкновенной в зеленомошном типе леса подзоны северной тайги западной Сибири // Аграрное образование и наука. 2016. № 4. Статья № 17. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=28351220>.
- Цветков П.А.* Нагар как диагностический признак // Хвойные бореальной зоны. 2006. Т. XXIII. № 3. С. 132–137.
- Цветков П.А.* Влияние пожаров на начальный этап лесообразования в среднетаежных сосняках Сибири // Хвойные бореальной зоны. 2013. Т. XXXI. № 1–2. С. 15–21.
- 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.
- Шубин Д.А., Малиновских А.А., Залесов С.В.* Влияние пожаров на компоненты лесного биогеоценоза в Верхне-Обском боровом массиве // Известия Оренбургского государственного аграрного университета, 2013 а. № 6 (44). С. 205–208.
- Шубин Д.А., Шубин Д.А., Соболев И.А. Послепожарный отпад деревьев в сосняках Приобья Алтайского края // Вестник Башкирского государственного аграрного университета. 2013. № 1 (25). С. 103–106.
- 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.
- Battipaglia G., Savi T., Ascoli D., Castagneri D., Esposito A., Mayr S., Nardini A.* Effects of prescribed burning on eco-

- physiological, anatomical and stem hydraulic properties in *Pinus pinea* L. // *Tree Physiology*. 2016. V. 36. Iss. 8. P. 1019–1031.
- 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.
- Clyatt K.A., Keyes C.R., Hood S.M. Long-term effects of fuel treatments on aboveground biomass accumulation in ponderosa pine forests of the northern Rocky Mountains // *Forest Ecology and Management*. 2017. V. 400. P. 587–599.
- Fernandes P.M., Fernandes M.M., Loureiro C. Survival to prescribed fire of plantation-grown Corsican black pine in northern Portugal // *Annals of Forest Science*. 2012. V. 69. Iss. 7. P. 813–820.
- Fernandes P.M., Vega J.A., Jiménez E., Rigolot E. Fire resistance of European pines // *Forest Ecology and Management*. 2008. V. 256. Iss. 3. P. 246–255.
- Hood S.M., Baker S., Sala A. Fortifying the forest: Thinning and burning increase resistance to a bark beetle outbreak and promote forest resilience // *Ecological Applications*. 2016. V. 26. Iss. 7. P. 1984–2000.
- Krylov A., McCarty J.L., Potapov P., Loboda T., Tyukavina A., Turubanova S., Hansen M.C. Remote sensing estimates of stand-replacement fires in Russia, 2002–2011 // *Environmental Research Letters*. 2014. № 9. 105007. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/9/10/105007>
- Leys B., Carcaillet C., Blarquez O., Lami A., Musazzi S., Trevisan R. Resistance of mixed subalpine forest to fire frequency changes: The ecological function of dwarf pine (*Pinus mugo* ssp. *mugo*) // *Quaternary Science Reviews*. 2014. V. 90. P. 60–68.
- Li B., Cheng X.-H., Lü L.-X. Responses of radial growth to fire disturbance in alpine pine (*Pinus densata*) of different age classes in Nang County, Xizang, China // *Chinese J. Plant Ecology*. 2016. V. 40. Iss. 5. P. 436–446.
- Nilsson S., Duinker P. A synthesis of survey results: The Extent of Forest Decline in Europe // *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*. 1987. V. 29. № 9. P. 4–31.
- Valor T., González-Olabarria J.R., Piqué M. Assessing the impact of prescribed burning on the growth of European pines // *Forest Ecology and Management*. 2015. V. 343. P. 101–109.

Fire Resilience of Pine Stands in the North of Arkhangelsk Oblast

O. N. Tyukavina^{1,*} and P. A. Feklistov¹

¹Northern (Arctic) Federal University named after Lomonosov, Severnaya Dvina emb. 17, Arkhangelsk, 163002 Russia

*E-mail: o.tukavina@narfu.ru

Received 20 April 2018

Revised 27 September 2019

Accepted 5 June 2019

Fire resilience of pine stands as indicated by the share of live trees characterizes ecological and economical value of post-fire stands and manage the renewable resource. We estimated the fire resilience of pine stands after creeping fire of different intensity in northern Arkhangelsk Oblast. Temporary sampling plots were located in blueberry, cowberry, ericetal and lichen pine forests of Arkhangelsk forestry enterprise, northern taiga forest region of the European part of the Russian Federation, of Mezen forestry enterprise, region of sub-tundra forests and open taiga of Europe and Urals. Fire resilience was estimated by percentage of live trees. Trees with active assimilation apparatus occupying more than 30% of the crown were considered live. Since there were no significant differences between cowberry and blueberry forest types having similar scorch mark height and age class, they were combined. The percentage of live trees in stands burned by creeping fire is driven by scorch mark height ($r = -0.86$), age ($r = 0.49-0.77$), mean diameter of stems ($r = 0.70-0.83$) and normality of a stand. The critical height of scorch marks and corresponding number of live trees were found for different age groups. Complexity of indicators of mean height of scorch marks and mean diameter of the stand, used to estimate fire resilience of pine stands after creeping fires were reasoned. Using the two indicators the model is proposed.

Keywords: pine stands, creeping fires, percentage of live trees, height of scorch marks, mean diameter of stands.

REFERENCES

- 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, Vol. 380, pp. 285–295.
- Alekseev V.A., *Lesnye ekosistemy i atmosfernoje zagryaznenie* (Forest ecosystems and atmospheric pollution), Leningrad: Nauka, 1990, 197 p.
- Anuchin N.P., *Lesnaya taksatsiya* (Forest taxation), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1982, 552 p.
- Artsybashev E.S., Vliyanie pozharov na lesnye biogeotse-nozy (The impact of forest fires on silvan biogeocenoses), *Biosfera*, 2014, Vol. 6, No. 1, pp. 53–59.
- Battipaglia G., Savi T., Ascoli D., Castagneri D., Esposito A., Mayr S., Nardini A., Effects of prescribed burning on eco-physiological, anatomical and stem hydraulic properties in *Pinus pinea* L., *Tree Physiology*, 2016, Vol. 36, No. 8, pp. 1019–1031.
- Bikov E.V., Sravnitel'nyi analiz vozdeistviya nizovykh pozharov na osnovnye i dubovye prigorodnye lesa (Comparative analysis of the surface fires influence on the pine

- and oak suburban forests), *Vestnik Volzhskogo universiteta imeni V.N. Tatishcheva*, 2015, No. 1 (23), pp. 101–104.
- 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*, 2016, Vol. 63, No. 1, pp. 94–100.
- Clyatt K.A., Keyes C.R., Hood S.M., Long-term effects of fuel treatments on aboveground biomass accumulation in ponderosa pine forests of the northern Rocky Mountains, *Forest Ecology and Management*, 2017, Vol. 400, pp. 587–599.
- Dancheva A.V., Zalesov S.V., Kompleksnaya otsenka sostoyaniya rekreatsionnykh sosnyakov GNPP "Burabai" po taksatsionnym parametram kron derev'ev (Assessment of state of recreational pines SNPP "Burabay" by inventory indices of tree crowns), *Lesa Rossii i khozyaistvo v nikh*, 2016, No. 2 (57), pp. 27–34.
- Demakov Y.P., *Diagnostika ustoichivosti lesnykh ekosistem: metodologicheskie i metodicheskie aspekty* (Testing of resilience of forest ecosystems: methodical and technical aspects), Yoshkar-Ola: Periodika Marii El, 2000, 414 p.
- Dumnov A.D., Rybal'skii N.G., *Lesnye pozhary v Rossiiskoi Federatsii* (Forest fires in the Russian Federation), Moscow: NIA-Priroda, 2005, 229 p.
- Feklistov P.A., *Ekologicheskie zakonomernosti rosta severo-taizhnykh sosnyakov kak teoreticheskaya osnova povysheniya produktivnosti i ratsional'nogo ispol'zovaniya: Avtoref. diss. d-ra s.-kh. nauk* (Ecological features of growth of pine forests in northern taiga: the basis of improvement of the productivity and the sustainable management. Extended abstract of candidate's agric. sci. thesis), Yekaterinburg: UGLTA, 1997, 40 p.
- Fernandes P.M., Fernandes M.M., Loureiro C., Survival to prescribed fire of plantation-grown Corsican black pine in northern Portugal, *Annals of forest science*, 2012, Vol. 69, No. 7, pp. 813–820.
- Fernandes P.M., Vega J.A., Jiménez E., Rigolot E., Fire resistance of European pines, *Forest Ecology and Management*, 2008, Vol. 256, No. 3, pp. 246–255.
- Furyaev V.V., *Rol' pozharov v protsesse lesoobrazovaniya*, Novosibirsk: Nauka, 1996, 253 p.
- Girs G.I., Fiziologicheskie aspekty ustoichivosti khvoynykh rastenii k ognemyv povrezhdeniyam (Physiological aspects of resilience of coniferous plants to fire damages), In: *Problemy lesovedeniya Sibiri (Challenges in forest science of Siberia)* Moscow: Nauka, 1977, pp. 148–159 (258 p.).
- Girs G.I., *Fiziologiya oslablenogo dereva* (Physiology of suppressed tree), Novosibirsk: Nauka, 1982, 255 p.
- Gridnev N.I., Tsaranlunga V.V., Zavisimost' stepeni povrezhdeniya kambiya ot parametrov ozhoga stvola pri nizovom pozhare (Injury of cambium is linked to stem burn factors of creeping fire), *Recovery, monitoring and protection of natural, novel and anthropogenic landscapes*, Proc. Conf., Voronezh, 14–15 June 2012, Voronezh: Izd-vo VGLTA, 2012, pp. 220–224.
- Hood S.M., Baker S., Sala A., Fortifying the forest: thinning and burning increase resistance to a bark beetle outbreak and promote forest resilience, *Ecological Applications*, 2016, Vol. 26, No. 7, pp. 1984–2000.
- Isangulov F., Gabdrahimov K., Pozharoustoichivost' oblesennykh krutosklonov Belebевskoi vozvyshennosti (Increase of fire stability of artificial forest ecosystems of Scots pine on forested slopes of Belebey Upland), *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2012, No. 2, pp. 60–62.
- Kalinin K.K., *Vozdeistvie krupnykh pozharov na lesnye fitotsenozy i sistema lesokhozyaystvennykh meropriyatii po likvidatsii ikh posledstviy: na primere lesnykh pozharov 1921 i 1972 gg. v lesnom Srednem Zavolzh'e. Diss. d-ra s.-kh. nauk* (Effect of large fires on forest phytocoenoses and the forest remediation policies: case study of 1921 and 1972 fires in forests of central Transvolga region. Doctor's agric. sci. thesis), Yoshkar-Ola: MarGTU, 2002, 449 p.
- Kanitskaya L.V., *Lesnaya pirologiya* (Forest pyrology), Irkutsk: Izd-vo BGUEP, 2013, 206 p.
- Karasev V.N., Karaseva M.A., Ekologo-fiziologicheskaya diagnostika zhiznesposobnosti derev'ev khvoynykh porod (Ecological-and-physiological diagnostics of coniferous trees viability), *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Lesnoi zhurnal*, 2004, No. 4, pp. 27–33.
- Kazantseva M.N., Vliyanie nizovykh pozharov na sosnyaki Nizhnego Priishim'ya (The influence of ground fires on the pine forests of the lower Ishim), *Vestnik Tyumenskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya i prirodopol'zovanie*, 2014, No. 6, pp. 38–45.
- Khabibullin A.F., Platonov E.Y., Efa D.E., Pozharoustoichivost' sosny obyknovnoy v zelenomoshnom tipe lesa podzony severnoi taigi Zapadnoi Sibiri (Fire stability of common pine in green moss forest type in West Siberian north taiga subzona), *Agrarnoe obrazovanie i nauka*, 2016, No. 4, Article no. 17.
- Krylov A., Mccarty J.L., Potapov P., Loboda T., Tyukavina A., Turubanova S., Hansen M.C., Remote sensing estimates of stand-replacement fires in Russia, 2002–2011, *Environmental Research Letters*, 2014, Vol. 9, No. 10, Article 105007, doi 10.1088/1748-9326/9/10/105007.
- Kuleshova L.V., *Monitoring soobshchestva na garyakh i upravlenie pozharami v zapovednikakh* (Monitoring of communities of burned areas and the fire management in nature reserves), Moscow: Izd-vo VNIIPrirody, 2002, 274 p.
- Kuznetsov G.V., Baranovskii N.V., *Prognoz vozniknoveniya lesnykh pozharov i ikh ekologicheskikh posledstviy* (Forecast of occurrence and ecological consequences of forest fires), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2009, 300 p.
- Leys B., Carcaillet C., Blarquez O., Lami A., Musazzi S., Trevisan R., Resistance of mixed subalpine forest to fire frequency changes: the ecological function of dwarf pine (*Pinus mugo* ssp. *mugo*), *Quaternary Science Reviews*, 2014, Vol. 90, pp. 60–68.
- Li B., Cheng X.-H., Lü L.-X., Responses of radial growth to fire disturbance in alpine pine (*Pinus densata*) of different age classes in Nang County, Xizang, China, *Chinese Journal of Plant Ecology*, 2016, Vol. 40, No. 5, pp. 436–446.
- Luganskii N.A., Zalesova S.V., Shchavrovskii V.A., *Povyshenie produktivnosti lesov* (Improving the productivity of forests), Yekaterinburg: Izd-vo UGLTI, 1995, 297 p.
- Marchenko V.P., Zalesov S.V., Gorimost' lentochnykh borov Priirtysh'ya i puti ee minimizatsii na primere GU GLPR "Ertis ormany", *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, No. 10 (108), pp. 55–59.
- Maslov A.D., Kuteev F.S., Pribylova M.V., *Stvolovye vrediteli lesa* (Forest stem pests), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1973, 144 p.

- Melekhov I.S., К типологии концентрированных вырубок в связи с изменениями в напочвенном покрове (Classification of extensive clear fellings by disturbance of ground cover), In: *Концентрированные рубки в лесах Севера (Extensive clear fellings in the Arctic forests)* Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1954, pp. 48–60 (248 p.).
- Melekhov I.S., *Лесная пирология* (Forest pyrology), Moscow: Izd-vo MLTI, 1983, 60 p.
- Melekhov I.S., *Лесные пожары и борьба с ними* (Forest fires: the governance), Arkhangel'sk: Sevkraigiz, 1934, 52 p.
- Melekhov I.S., *Влияние пожаров на лес* (The effect of fires on woodlands), Moscow-Leningrad: Goslestekhzdat, 1948, 127 p.
- Mikheeva N.A., Sobachkin D.S., Kosov I.V., Влияние низовых пожаров на компоненты сосновых насаждений Красноярской лесостепи (The surface fire influence on the components of the pine plantations of Krasnoyarsk forest-steppe), *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015, No. 6 (105), pp. 226–233.
- Molchanov A.A., *Лес и окружающая среда* (Forest and the environment), Moscow: Nauka, 1968, 247 p.
- Nilsson S., Duinker P., A synthesis of survey results: The Extent of Forest Decline in Europe, *Environment: Science and Policy for Sustainable Development*, 1987, Vol. 29, No. 9, pp. 4–31.
- Romanov V.E., Определение ущерба от низовых лесных пожаров (Assessment of losses from creeping forest fires), *Лесное хозяйство*, 1968, No. 2, pp. 36–38.
- Savchenko A.G., *Изучение огнестойкости сосны крымской в связи с созданием и формированием пожароустойчивых насаждений в Крыму. Автореф. дисс. канд. с.-х. наук* (Study of fire resistance of Crimean pine to create and form resilient stands in Crimea. Extended abstract of Candidate's biol. sci. thesis), Moscow: MLTI, 1982, 18 p.
- Shubin D., Shubin D., Sobolev I., Послепожарный отпад деревьев в сосняках Приоб'я Алтайского края (Post-fire falling trees in pine forests in the Ob region of the Altai territory), *Vestnik Bashkirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, No. 1 (25), pp. 103–106.
- Shubin D.A., Malinovskikh A.A., Zalesov S.V., Влияние пожаров на компоненты лесного биogeоценоза в Верхне-Обском боровом массиве (Influence of fires on the components of forest biogeocoenosis in the Verkhne-Ob'sk pine wood stand), *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, No. 6 (44), pp. 205–208.
- Shubin D.A., Zalesov S.V., Послепожарный отпад деревьев в сосновых насаждениях Приобского водохранилища сосново-березового лесохозяйственного района Алтайского края (Post-fire tree attrition in pine plantations, in the Ob water protection pine-birch forest area of the Altai region), *Agrarnyi vestnik Urala*, 2013, No. 5 (111), pp. 39–41.
- Snytkin G.V., *Лесные пожары и борьба с ними на Крайнем Севере-Востоке Сибири. Дисс. д-ра с.-х. наук* (Forest fires and their governance in Arctic Northeastern Siberia. Doctor's agric. sci. thesis), Moscow: MGUL, 2002, 315 p.
- Sukachev V.N., Историya растительности СССР во время плейстоцена (Pleistocene records of vegetation in USSR), In: *Растительность СССР (Vegetation of the USSR)* Moscow – Leningrad: Izd-vo AN SSSR, 1938, Vol. 1, pp. 183–234.
- Sukachev V.N., Zonn S.V., *Методические указания к изучению типов леса* (Recommended practices of the study of forest types), Moscow: Izd-vo AN SSSR, 1961, 144 p.
- Tikhonova I.V., Shabalina O.M., Minakova O.A., Structure of the crown of Siberian larch as a complex stability index of trees in the plantations of Krasnoyarsk, *Contemporary Problems of Ecology*, 2009, Vol. 2, No. 5, pp. 451–455.
- Tkachenko M.E., Задачи лесной политики на Севере (Objectives of the forest governance in the Arctic), *Sel'skoe i lesnoe khozyaistvo Severa (Agriculture and forestry in the Arctic)*, Petrograd: Novaya derevnya, 1923, pp. 112–135.
- Tsvetkov P.A., Nagar как диагностический признак (Scorch marks as a diagnostic feature), *Khvoynye boreal'noi zony*, 2006, Vol. 23, No. 3, pp. 132–137.
- Tsvetkov P.A., Влияние пожаров на начальный этап лесообразования в среднезональных сосняках Сибири (Effect of fires on initial stage of forest forming in middle taiga pine woodlands of Siberia), *Khvoynye boreal'noi zony*, 2013, Vol. 31, No. 1–2, pp. 15–21.
- Vakurov A.D., *Лесные пожары на Севере* (Forest fires in the Arctic), Moscow: Nauka, 1975, 100 p.
- Valor T., González-Olabarria J.R., Piqué M., Assessing the impact of prescribed burning on the growth of European pines, *Forest Ecology and Management*, 2015, Vol. 343, pp. 101–109.
- Volokitina A.V., *Классификация растительных горючих материалов и методы их картографирования. Дисс. д-ра с.-х. наук* (Classification and techniques of mapping of forest fuels. Doctor's agric. sci. thesis), Krasnoyarsk: IL SO RAN, 1999, 452 p.
- Vorontsov A.I., *Патология леса* (Forest pathology), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1978, 267 p.
- Zalesov S.V., *Лесная пирология* (Forest pyrology), Yekaterinburg: Izd-vo UGLTU, 2013, 332 p.
- Zalesov S.V., Luganskii N.A., *Povyshenie produktivnosti сосновых лесов Урала* (Improving the productivity of pine forests in Urals), Yekaterinburg: Izd-vo UGLTU, 2002, 330 p.