

УДК 630*431.5

ОЦЕНКА ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ И ЕЕ ДИНАМИКИ В ЛЕСНЫХ РАЙОНАХ СИБИРИ¹

© 2021 г. Л. В. Буряк^{a, b, *}, Е. А. Кукавская^c, В. А. Иванов^b, О. Ф. Малых^d, Р. В. Котельников^a

^aФилиал ФБУ ВНИИЛМ “Центр лесной пирологии”, ул. Крупской, 42, Красноярск, 660062 Россия

^bСибирский государственный университет науки и технологий им. академика М.Ф. Решетнева,
пр. Мира, 82, Красноярск, 660049 Россия

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

^dИнститут природных ресурсов, экологии и криологии СО РАН, ул. Недорезова, 16а, Чита, 672014 Россия

*E-mail: lburak@mail.ru

Поступила в редакцию 28.04.2017 г.

После доработки 17.11.2019 г.

Принята к публикации 06.04.2021 г.

Проанализированы существующие методы оценки пожарной опасности. Для лесных районов Сибири, отличающихся наиболее высокими показателями горимости, приведены данные по степени природной, погодной пожарной опасности и опасности от источника возгорания. Предложено природную пожарную опасность оценивать с учетом зонально-географических и лесопожарных особенностей лесорастительных зон и лесных районов Сибири. Установлена необходимость учета динамики пожарной опасности, прежде всего, после пожароопасных сезонов, характеризующихся чрезвычайной степенью горимости. В отдаленных районах предложено динамику природной пожарной опасности территорий оценивать на основе прогнозирования состояния лесных экосистем после воздействия пожаров. Предложенный метод прогнозирования апробирован на территории Нижнеангарского лесного района, выявлена высокая достоверность в оценке послепожарного состояния древостоев (в 87% случаев). На основе прогноза последствий воздействия пожаров проведена оценка динамики природной пожарной опасности в Кодинском и Гремучинском лесничествах Красноярского края. Выявлено значительное увеличение площади лесных земель, характеризующихся I классом природной пожарной опасности после воздействия нескольких крупных пожаров 1996 и 2006 г., и возрастание класса пожарной опасности в части участковых лесничеств и на территории Гремучинского лесничества в целом.

Ключевые слова: пожарная опасность, лесные районы, зонально-географические особенности, динамика пожарной опасности, методика прогноза.

DOI: 10.31857/S0024114821040033

Наибольший ущерб лесным экосистемам России в настоящее время наносят пожары растительности. Первоочередной задачей лесных служб является повышение эффективности охраны лесов от пожаров (Валендик, 2007).

В России значительная доля лесных земель находится в Сибири, где пожары ежегодно охватывают несколько миллионов гектар (Vivchar, 2011; Goldammer et al., 2013; Kukavskaya et al., 2013; Барталев и др., 2015). В настоящее время в регионе наблюдается значительный рост частоты пожаров и горимости лесов (Швиденко, Шепашенко, 2013; Пономарев, Харук, 2016; Лупян и др., 2017). Это происходит вследствие урбанизации территории и, в то же время, снижения финансирова-

ния и неоднократных реорганизаций предприятий лесной отрасли (Ковалев, 2008; и др.). Ситуация усугубляется в результате потепления климата (Шутов, Рябинин, 2009; и др.). Так, согласно глобальным климатическим моделям в конце XXI века температура поверхности Земли увеличится на 0.3–4.8°C в сравнении с периодом 1986–2005 гг., при этом наибольший рост ожидается на территории Северной Евразии (IPCC, 2013). По прогнозам отечественных и зарубежных специалистов, изменение климата будет сопровождаться увеличением числа и интенсивности пожаров, продолжительности пожароопасных сезонов и горимости лесов (Flannigan et al., 2009, Швиденко, Шепашенко, 2013; Jolly et al., 2015; Groisman et al., 2017).

В случае развития сильных засух возможно распространение пожаров на площади, достигающей несколько миллионов гектар (Валендик,

¹ Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (15-04-06567).

Иванова, 1996; и др.). Так, по данным спутникового мониторинга, только в Забайкальском крае в 2003 г. пожарами было пройдено 5.6 млн. га лесных земель (Kukavskaya et al., 2016). В случае совпадения засушливых условий с сильными ветрами пожары растительности превращаются в стихийное бедствие. Пример тому – лесопожарные ситуации, сложившиеся 1–2 мая 2000 г. в Читинском лесничестве Забайкальского края и 12–13 апреля 2015 г. – в Хакасии, Шушенском лесничестве Красноярского края и центральных районах Забайкальского края, когда в результате катастрофических пожаров растительности сгорели объекты инфраструктуры и погибли люди.

В складывающихся условиях необходима разработка системы управления лесными пожарами, основой для которой должен послужить весь спектр имеющихся на данный момент знаний о природе лесных пожаров и последствий их воздействия на лесные экосистемы. В связи с этим целью работы явилась оценка пожарной опасности на территории Сибири с учетом зонально-географических особенностей лесных районов и динамики природной пожарной опасности на основе прогноза последствий пожаров с учетом региональных особенностей каждого лесного района.

ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА

Объектом исследования являются методы оценки пожарной опасности в лесах, динамика пожарной опасности и возможность прогноза динамики пожарной опасности.

В статье приводятся оценка различных видов пожарной опасности и анализ существующих методов классификации пожарной опасности (Мелехов, 1947; Вонский и др., 1981; Приказ Рослесхоза ..., 2011). Метеорологические условия характеризовались показателем пожарной опасности по условиям погоды ПВ-1 (Вонский и др., 1981).

В качестве объектов исследований выбраны наиболее горимые лесные районы Сибири. Оценка пожарной опасности по условиям погоды, напряженности пожароопасных сезонов, характеристик горимости и анализ причин возникновения пожаров были проведены для всех лесорастительных зон Сибири: таежной (Среднесибирский плоскогорный таежный, Нижнеангарский таежный лесные районы), лесостепной (Среднесибирский подтаежно-лесостепной и Забайкальский лесостепной лесные районы) и Южно-Сибирской горной. В пределах Южно-Сибирской горной зоны оценены показатели для всех лесных районов: Алтае-Саянского горнотаежного и горнолесостепного, Байкальского и Забайкальского горного. Анализ горимости в лесных районах проведен по данным региональных диспетчерских служб за период с 2010 по 2019 гг. и по

данным ИСДМ-Рослесхоз за период с 2000 по 2019 гг. При оценке горимости были определены среднесезонные показатели по длительности фактического пожароопасного сезона, частоте пожаров (по числу случаев на 1 млн га), степени горимости (по площади пройденной огнем в га на 1 тыс. га охраняемой площади), средней площади пожара и причинам возникновения пожаров.

Пример карт природной пожарной опасности на различные периоды пожароопасного сезона приведен для менее нарушенного пожарами Среднесибирского плоскогорного таежного района.

Динамика природной пожарной опасности оценена на примере Нижнеангарского таежного района, отличающегося в последние годы высокими показателями горимости.

Сбор базы данных по оценке состояния древостоев и участков лесных земель, пройденных пожарами, и их природной пожарной опасности в лесных районах Сибири производился с 1995 по 2018 г. Всего было заложено 650 пробных площадей, в том числе 115 – в Нижнеангарском таежном районе. Пробные площади закладывали в соответствии с общепринятыми методиками В.Н. Сукачева и С.В. Зонна (1961), таксацию древостоев проводили по методикам, описанным Н.П. Ануциным (1982). Вид, форму и интенсивность пожара устанавливали по высоте нагара на стволах, прогоранию корки и корневых лап деревьев, степени прогорания напочвенного покрова (Матвеев, 2006). Состояние деревьев определяли по степени повреждения и (или) усыхания их кроны (Софронов, 1998). Влияние пожаров на древостой оценивали в соответствии с выделенным для каждого лесного района комплексом факторов, оказывающих наиболее существенное воздействие на лесные экосистемы, характеристики пожаров и их последствия. В Нижнеангарском таежном районе оценка велась в соответствии с типом условий местопрорастания (богатством и влажностью почвы) и группой возраста древостоев (Буряк, 2015). Результаты статистической обработки данных по степени повреждения древостоев пожарами были обобщены в виде таблиц.

Для оценки динамики природной пожарной опасности в труднодоступных районах Сибири ранее была разработана методика прогноза последствий воздействия пожаров (Скудин и др., 2010; Буряк, 2015). Данная методика основана на использовании лесоустроительной базы данных, материалов наземных исследований и данных спутниковой информации и состоит из нескольких этапов. На первом этапе работы на космическим способом высокого разрешения наносились границы гарей, кварталов и выделов, входящих в эти границы. Далее отмечались участки, контрастные по спектральным характеристикам, предположительно, с насаждениями, имеющими различные

таксационные показатели (что сверялось с лесо-устроительными материалами) или различную степень повреждения. Вид, форму и интенсивность пожаров прогнозировали по сопряженному анализу данных спутниковых систем, лесоустроительной базы данных и значений показателей пожарной опасности по условиям погоды на каждый день развития пожара. Затем, используя обобщенные статистические данные по степени повреждения древостоев пожарами, проводили перерасчет запаса и полноты жизнеспособной части древостоев в каждом выделе. По полноте жизнеспособной части древостоев прогнозировали категорию участков лесных земель. Гарью считали участки лесных земель, где полнота жизнеспособной части древостоев после воздействия пожаров составляла менее 0.3. Далее для каждого выдела, пройденного пожаром, производилась переоценка класса природной пожарной опасности (КППО) в соответствии с классификацией природной пожарной опасности, утвержденной приказом Рослесхоза от 5 июля 2011 № 287. Согласно данной классификации, считали, что выделы, представленные после воздействия пожаров гарями, характеризуются I КППО. Затем для оценки динамики пожарной опасности, пересчитывались средневзвешенные классы природной пожарной опасности в целом для территорий участков лесничеств и лесничеств, где действовали пожары, с учетом площади выделов, изменивших КППО.

Для построения карт природной пожарной опасности использовались данные лесоустройства по распределению участков лесных земель по различным категориям, типам леса, типам условий местопрорастания, экспозиции и крутизне склона, возрасту древостоев и их полноте. Оценка природной пожарной опасности каждого выдела производилась с использованием действующей классификации природной пожарной опасности лесов, шкалы природной пожарной опасности И.С. Мелехова (1947), данных М.А. Софронова, А.В. Волокитиной (2002) и материалов собственных исследований. Прежде всего, для травяных типов леса пожарную опасность в весенний и летний периоды пожароопасного сезона считали различной: так, сосняки разнотравные, согласно шкале И.С. Мелехова (1947), а также березняки разнотравные и участки гарей – в соответствии с данными М.А. Софронова, А.В. Волокитиной (2002) и результатами наших исследований, в весенний период оценивали очень высоким I КППО.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что лесной пожар возникает и развивается при следующих условиях: при наличии горючего материала, готовности этого материала к горению и наличия источника огня (Мелехов,

1947). Соответственно этому было выделено три вида пожарной опасности: по условиям погоды, природная и антропогенная. Поскольку во многих лесных районах Сибири значительное число пожаров возникает от гроз (Иванов, Иванова, 2010), по нашему мнению, корректнее было бы говорить не об антропогенной пожарной опасности, а о пожарной опасности от источника возгорания.

Пожарную опасность по погодным условиям, которая в значительной степени зависит от климатических условий лесных районов, на каждый день пожароопасного сезона определяют по комплексу метеорологических элементов. Для определения классов пожарной опасности используются шкала В.Г. Нестерова или местные шкалы. Например, в настоящее время специалистами Красноярской базы авиационной и наземной охраны лесов используется шкала В.Г. Нестерова (1945), несмотря на то, что для каждого периода пожароопасного сезона ранее были разработаны местные шкалы, а на Читинской базе авиационной охраны лесов для определения класса пожарной опасности по условиям погоды используются местные шкалы. Пожарная опасность по погодным условиям в значительной степени определяет характеристики горимости в границах лесных районов или других территориальных единиц и динамику показателей горимости по годам. Р.М. Коганом, В.А. Глаголевым (2016) было выявлено, что изменение напряженности пожароопасных сезонов в Хабаровском крае и Еврейской автономной области определяется, в первую очередь, числом дней с высокой пожарной опасностью по условиям погоды. Сумму дней с IV и V классами пожарной опасности по условиям погоды (КПО) авторы характеризуют как показатель суровости пожароопасного сезона. В результате проведенных нами исследований также было установлено, что число возникших на территории лесных районов пожаров находится в зависимости от числа дней, характеризующихся высокими классами пожарной опасности по условиям погоды (рис. 1). Не отмечается тесной зависимости числа пожаров от суммы дней с высокими классами КПО в Среднесибирском подтаежно-лесостепном районе. Это вероятнее всего обусловлено тем, что в настоящее время при оценке пожарной опасности по погодным условиям используется шкала В.Г. Нестерова (1945), где нижней границей IV КПО является показатель 4 тыс. единиц, а пожарное созревание участков лесных земель в весенний период максимума горимости в данном лесном районе происходит значительно быстрее. Следует отметить, что в местных шкалах, разработанных для данного региона, в весенний период нижняя граница IV КПО составляла 1.2 тыс. единиц. Следовательно, при оценке пожарной опасности по условиям погоды более рациональным является использование местных региональных шкал.

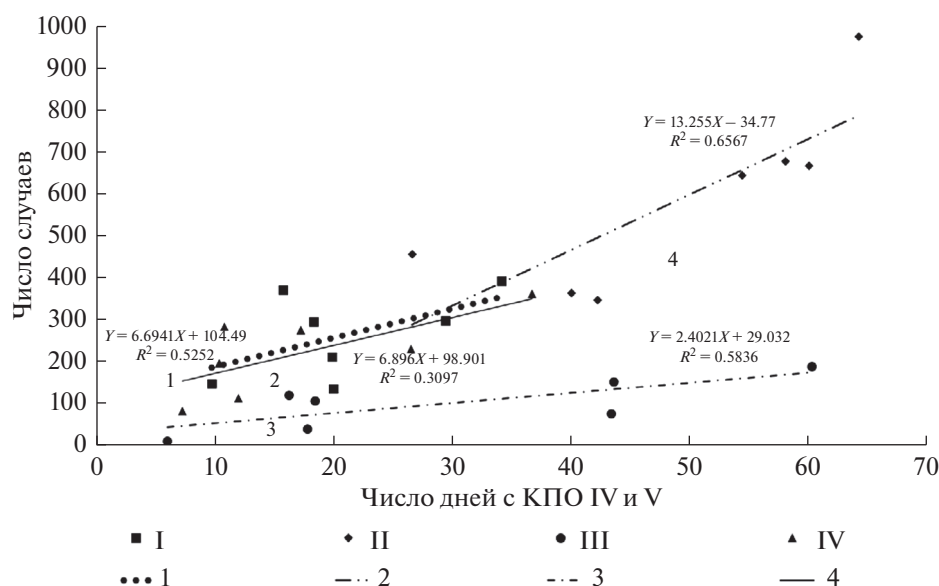


Рис. 1. Зависимость числа пожаров от числа дней с классами пожарной опасности IV и V в лесных районах Сибири. Число пожаров - по данным диспетчерских региональных служб за период с 2010 по 2017 г. КПО – по данным всех метеостанций, работающих в приведенных лесных районах. Лесные районы: I – Алтае-Саянский горно-таежный, II – Нижнеангарский таежный, III – Среднесибирский плоскогорный таежный, IV – Среднесибирский подтаежно-лесостепной; 1 – Алтае-Саянский горно-таежный, 2 – Нижнеангарский таежный, 3 – Среднесибирский плоскогорный таежный, 4 – Среднесибирский подтаежно-лесостепной.

Региональными особенностями характеризуется и пожарная опасность от источника возгорания. В лесных районах и на территориях, отличающихся высокой плотностью населения и хорошо развитой дорожной сетью, преобладают антропогенные причины возникновения пожаров (табл. 1). В Сибири высокая плотность населения отмечается, прежде всего, в южной части региона, за исключением горных районов. Так, например, в Среднесибирском подтаежно-лесостепном районе плотность населения составляет 46.1 чел. км⁻², а в Среднесибирском плоскогорном таежном районе – всего лишь 0.24 чел. км⁻². Южным равнинным территориям свойственна и более развитая дорожная сеть. Соответственно, высокая доля пожаров по антропогенным причинам отмечается в более южных Среднесибирском подтаежно-лесостепном и Забайкальском лесостепном, Забайкальском и Байкальском горных лесных районах и в южной части Нижнеангарского лесного района. В более северных лесных районах с низкой плотностью населения основной причиной возникновения пожаров является грозовая деятельность. В Сибири к таким регионам относится большая часть таежной и Южно-Сибирской горной зон (Иванов, Иванова, 2010). При этом следует отметить, что и в этих зонах для участков лесных земель, расположенных в непосредственной близости с населенными пунктами и дорогами общего назначения, характерно возникновение пожаров по вине человека.

Основой для оценки природной пожарной опасности служит шкала, предложенная И.С. Мелеховым (1947) и, с учетом дополнений, включенная в последующие нормативные документы по охране лесов от пожаров. Следует отметить, что используемая в настоящее время классификация, дает оценку, определяющую пожарную опасность участков лесных земель в летний период пожароопасного сезона. Соответственно этому, сенокосы классифицируются V (низким) (КППО), а насаждения травяных типов леса – IV (ниже среднего) КППО, что действительно соответствует степени их пожарной опасности в летний период пожароопасного сезона. В весенний и осенний периоды насаждения травяных типов леса и не покрытые лесом участки лесных земель, а также сенокосы и травяные болота, отличаются высокой природной пожарной опасностью. В шкале И.С. Мелехова (1947), например, сосняки травяные и сосновые вырубki отнесены к I КППО. Сравнительный анализ данных показал, что средний КППО в исследуемых лесных районах характеризуется средней природной пожарной опасностью, он варьируется от 2.6 до 3.3, составляя в среднем – III класс при совершенно различных характеристиках длительности пожароопасных сезонов и показателях фактической горимости территорий (табл. 2). Выявлено, что в Среднесибирском подтаежно-лесостепном лесном районе и в горных лесах Сибири наибольшие число пожаров и наибольшие площади, пройденные огнем, отмечают-

Таблица 1. Доля от числа пожаров в зависимости от различных причин (%) (по данным региональных диспетчерских служб за период с 2010 по 2019 г.)

Лесной район	От гроз	Местное население	Выжигание травы	Лесопользователи	По вине организаций	Переход с иных категорий	Не выявлено
Среднесибирский плоскогорный таежный	93.1	2.6	0	0.2	0.2	0.5	3.4
Нижнеангарский таежный	46.2	31.3	1.2	1.4	3.9	4.0	12
Среднесибирский подтаежно-лесостепной	2.9	68.3	4.7	0.2	1.3	12.5	10.1
Забайкальский лесостепной	11.2	51.9	20.4	0.1	2.6	13.1	0.7
Алтае-Саянский горно-лесостепной	13.1	55.7	5.3	4.4	0.5	9.7	11.3
Алтае-Саянский горно-таежный	21.8	53.5	4.0	1.2	1.2	8.3	10
Байкальский горный лесной	16.3	52.1	5.7	0.1	1.5	4	20.3
Забайкальский горный лесной	7.0	74.3	10.3	0.1	2.0	6.1	0.2

Таблица 2. Средний класс природной пожарной опасности и характеристики горимости лесных земель по лесным районам Сибири

Лесной район	Средний КППО	Среднегодовые показатели			
		длительность пожароопасного сезона, дней	частота пожаров, шт. 1 млн га ⁻¹	горимость, га 1 тыс. га ⁻¹	средняя площадь пожара, га
Среднесибирский плоскогорный таежный	2.7	<u>99.3*</u>	<u>3.40</u>	<u>9.65</u>	<u>1 677.2</u>
		86.2**	1.35	2.63	904.4
Нижнеангарский таежный	2.7	<u>138.2</u>	<u>50.35</u>	<u>7.52</u>	<u>138.7</u>
		118.8	8.76	6.13	560.4
Среднесибирский подтаежно-лесостепной	2.8	<u>170.2</u>	<u>49.83</u>	<u>3.22</u>	<u>48.2</u>
		136.6	17.53	4.21	179.0
Забайкальский лесостепной	3.0	<u>186.9</u>	<u>14.40</u>	<u>15.11</u>	<u>976.9</u>
		164.0	9.52	11.29	774.9
Алтае-Саянский горно-лесостепной	3.4	<u>127.9</u>	<u>36.45</u>	<u>1.14</u>	<u>50.9</u>
		92.3	12.19	1.31	112.6
Алтае-Саянский горно-таежный	3.3	<u>134.1</u>	<u>15.12</u>	<u>0.93</u>	<u>65.4</u>
		97.6	8.07	0.86	177.9
Байкальский горный лесной	2.6	<u>172.9</u>	<u>47.60</u>	<u>7.65</u>	<u>152.8</u>
		135.9	7.03	7.27	658.9
Забайкальский горный лесной	3.0	<u>207.6</u>	<u>45.90</u>	<u>14.38</u>	<u>268.23</u>
		167.7	13.49	22.60	1135.3

Примечание. В числителе – по данным ИСДМ-Рослесхоз за период с 2000 по 2019 г. В знаменателе – по данным региональных диспетчерских служб за период с 2010 по 2019 г.

ся в весенние месяцы (рис. 2). Это связано с преобладанием в этих лесных районах травяных типов леса и участков лесных земель. В последние десятилетия в связи с возрастанием нарушенности территорий в результате рубок и пожаров в южной и средней частях таежной зоны, где ранее доминировали моховые типы леса и пик горимости приходился на летние месяцы, увеличивается

доля участков лесных земель с травяным покровом. Вследствие этого в настоящий период в Нижнеангарском таежном районе весной отмечается наибольшее число пожаров, возникших чаще по вине местного населения на нарушенных участках лесных земель с травяным напочвенным покровом. Такие участки, как правило, приурочены к населенным пунктам и дорогам. В лет-

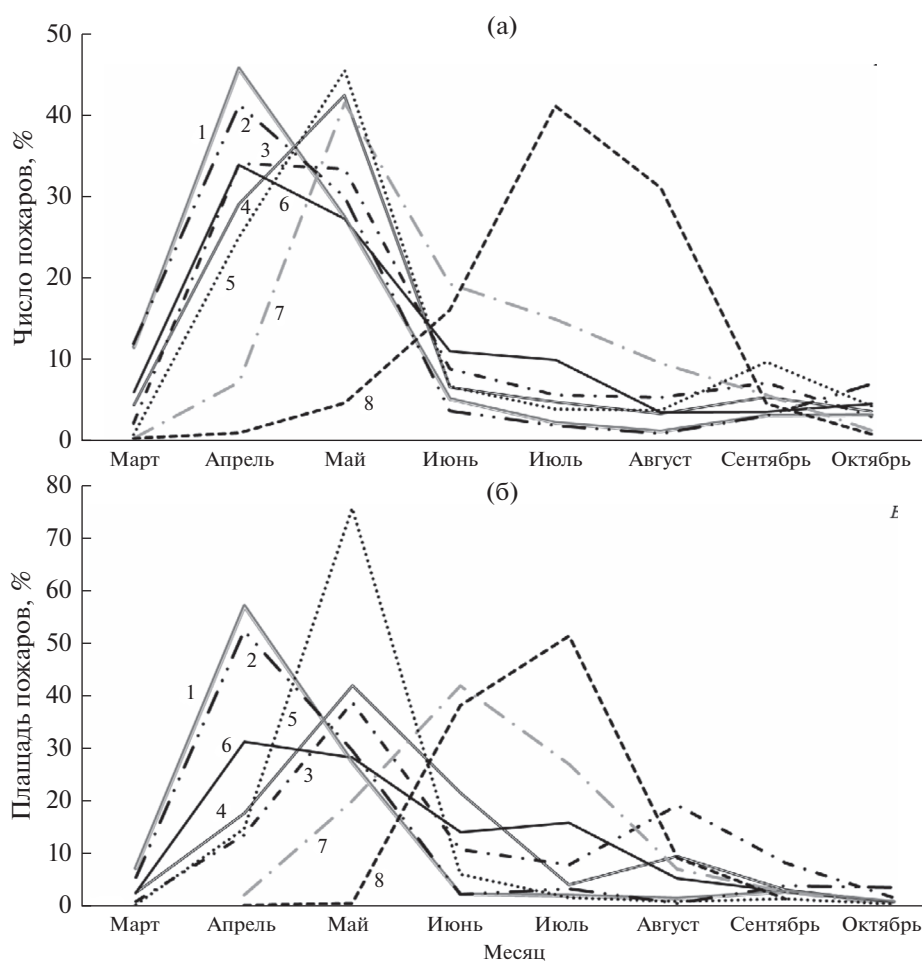


Рис. 2. Распределение пожаров в лесных районах Сибири по месяцам пожароопасного сезона (%): (а) – по числу; (б) – по площади. 1 – Забайкальский горный лесной район, 2 – Забайкальский лесостепной район, 3 – Алтае-Саянский горно-лесостепной район, 4 – Алтае-Саянский горно-таежный район, 5 – Среднесибирский подтаежно-лесостепной район, 6 – Байкальский горный лесной район, 7 – Нижнеангарский таежный район, 8 – Среднесибирский плоскогорный таежный район.

ний период пожары возникают чаще от гроз, как правило, на труднодоступных участках в насаждениях с моховым покровом. Вследствие удаленности и сложности тушения пожаров в этих условиях на летний период приходится наибольшие площади, пройденные пожарами.

При организации охраны лесов от пожаров желательна разработка классификации природной пожарной опасности и составление карт на каждый период пожароопасного сезона. В случае недостатка финансирования необходимо учитывать зонально-географические особенности лесных районов. Прежде всего целесообразно ориентироваться на максимумы пожарной опасности, выявленные при оценке фактической горимости территорий. В соответствии с выявленными максимумами горимости для территорий, расположенных в Среднесибирском подтаежно-лесостепном лесном районе и Южно-Сибирского горной зоне,

классификацию природной пожарной опасности, оценку земель лесного фонда и карты природной пожарной опасности, прежде всего, необходимо разрабатывать для весеннего периода. Для территорий, расположенных в лесостепной зоне (Среднесибирский подтаежно-лесостепной и Забайкальский лесостепной районы), Байкальском и Забайкальском горных лесных районах, горных лесах Тывы и южной части Нижнеангарского лесного района следует разрабатывать две или даже три шкалы и карты природной пожарной опасности (весна–осень и лето или весна, лето, осень). Такая необходимость обусловлена вероятностью возникновения пожаров в течение всего пожароопасного сезона.

Предложенные рекомендации послужили основой для разработки региональных шкал природной пожарной опасности и подготовки на их основе карт природной пожарной опасности на

часть территорий Сибири. Было разработано районирование территории Красноярского края по среднему классу природной пожарной опасности для весенне-осеннего и летнего периодов пожароопасного сезона (Буряк и др., 2013). В соответствии с рекомендуемой классификацией природной пожарной опасности специалистами Востоксиблеспоекта в 2010 г. были составлены карты природной пожарной опасности территории Перовского лесничества национального парка «Шушенский бор» (Буряк, 2015). Разработаны карты природной пожарной опасности на территорию заповедника «Центральносибирский», расположенного в Среднесибирском плоскогорном таежном районе. Для данного лесного района с учетом фенологических особенностей и характеристик горимости были предложены шкалы и составлены карты природной пожарной опасности для весеннего (с началом лета) и летнего периодов пожароопасного сезона, используемые в настоящее время при организации охраны лесов на территории заповедника. На рисунке 3 приведен фрагмент карт природной пожарной опасности.

Отмечается временная динамика всех показателей пожарной опасности. Оценка индексов пожарной опасности по условиям погоды выявила, что пожарная опасность в Сибири за последние 100 лет возросла (Groisman et al., 2007), зарегистрировано и сокращение межпожарных интервалов (Kharuk et al., 2013). В последние десятилетия в южных лесных районах Сибири наблюдались многолетние засухи. При этом значения показателя пожарной опасности ПВ-1 нередко достигали величин, которые характеризовали степень пожарной опасности по погодным условиям как чрезвычайную, а в отдельные пожароопасные сезоны они превышали этот показатель в несколько раз. Например, в Забайкальском крае засуха продолжалась с 1995 по 2008 г. Самая высокая пожарная опасность по погодным условиям зафиксирована в Забайкальском горном лесном районе в июле 2003 г., когда показатель ПВ-1 превышал 40 тыс. единиц. В Нижнеангарском лесном районе показатель ПВ-1 в 2003 и 2006 г. достигал 14–16 тыс. единиц, а в Среднесибирском плоскогорно-таежном районе в 2012 г. составил более 13 тыс. единиц. Анализ данных, полученных на Богучанской метеостанции за период с 2007 по 2016 г., показал, что пожарная опасность по погодным условиям, даже по среднемесячным значениям ПВ-1, практически каждый пожароопасный сезон достигала показателей, превышающих 2–3 тыс. единиц, а в июне 2012 г. среднемесячный показатель ПВ-1 превышал 6.9 тыс. единиц (рис. 4). Соответственно местной шкале, разработанной для каждого периода пожароопасного сезона сотрудниками Института леса СО РАН совместно с работниками Красноярской базы авиационной и наземной охраны лесов и применяемой ранее, такие показатели ха-

рактеризуют пожарную опасность по условиям погоды как высокую и очень высокую (IV и V КПО).

В южных регионах Сибири наблюдается рост плотности населения. Увеличение степени нарушенности земель лесного фонда обуславливает возрастание грозовой активности (Иванов, Иванова, 2010), что в совокупности с возрастающей антропогенной нагрузкой приводит к увеличению вероятности возникновения пожаров.

Высокая частота пожаров и степень горимости, неоднократное воздействие пожаров на участки лесных земель приводят к дальнейшему увеличению степени нарушенности земель лесного фонда Сибири и снижению устойчивости лесных экосистем. Так, в результате высокой степени горимости в лесных районах Забайкальского края отмечается значительное увеличение площади ослабленных и погибших лесов. Анализ данных Центра защиты леса Забайкальского края показал, что площадь ослабленных и погибших насаждений за период с 2005 по 2014 гг. в крае возросла в 38 раз и в 2014 г. превышала 800 тыс. га. С увеличением площади нарушенных участков лесных земель возрастает и степень их пожарной опасности. Кроме того, установлено, что изменение климатических условий сопровождается и сменой лесных формаций в сторону более засухо- и пожароустойчивых видов растительности, которые характеризуются и более высокой природной пожарной опасностью (Буряк, 2015). Прежде всего, в лесных районах Сибири увеличивается доля светлохвойных насаждений и участков лесных земель с травяным покровом.

Совокупность этих факторов и направленность их динамики в настоящий период, вероятнее всего, будет способствовать дальнейшему возрастанию степени нарушенности лесных районов Сибири. Соответственно, при организации охраны лесов от пожаров обязателен учет не только зонально-географических особенностей пожарной опасности, но и учет ее динамики. Так, в отдельные годы доля площади, пройденной пожарами за один пожароопасный сезон, в части лесничеств Нижнеангарского лесного района (1996, 2006, 2019 гг.) и Забайкальского края (2003, 2012, 2015 гг.) превышала 10%, достигая, в некоторых случаях 25–30% от общей площади земель лесного фонда. Пожары распространялись в засушливые периоды при высоких показателях ПВ-1, соответственно набирали высокую силу, переходили в устойчивую форму или развивались в верховые. Последствием таких пожаров является полная гибель древостоев на значительной площади. В результате увеличения площади нарушенных участков лесных земель возрастает и природная пожарная опасность территориальных подразделений, поскольку не покрытые лесом участки, прежде всего, вырубki и гари, отличают-

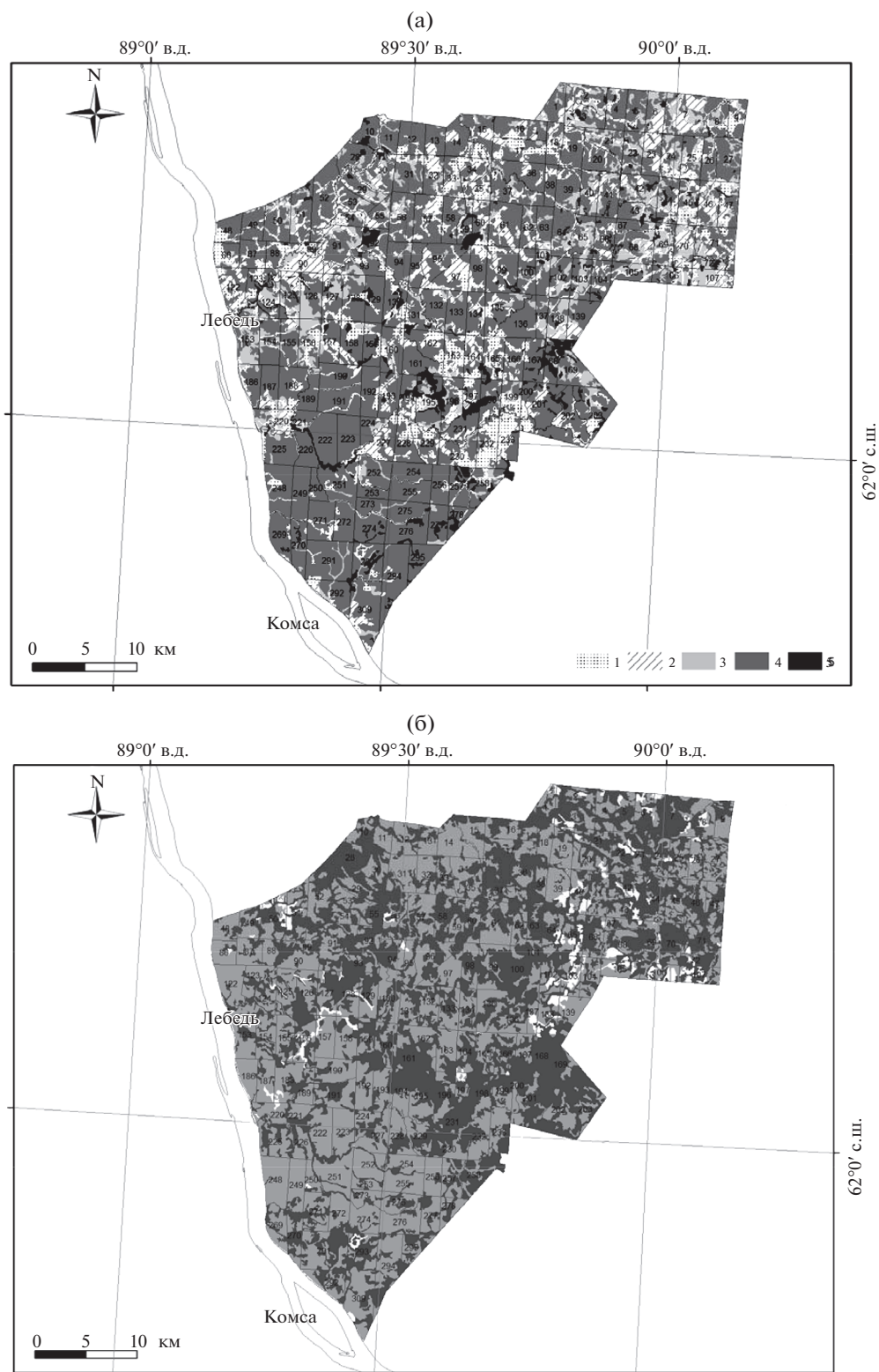


Рис. 3. Карта-схема природной пожарной опасности части территории заповедника “Центральносибирский” в периоды пожароопасного сезона: (а) – весенний (с началом лета), (б) – летний период. Природная пожарная опасность: 1 – I КППО (пожарная опасность очень высокая), 2 – II КППО (пожарная опасность высокая), 3 – III КППО (пожарная опасность средняя), 4 – IV (пожарная опасность слабая), 5 – V КППО (пожарная опасность отсутствует).

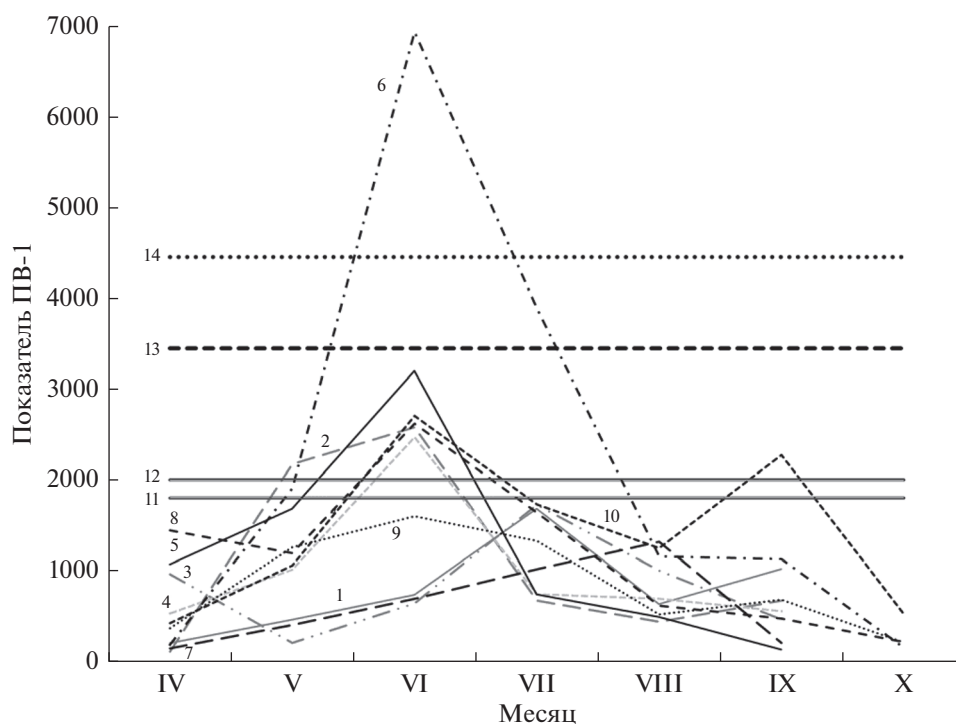


Рис. 4. Динамика показателя ПВ-1 по данным м/с Богучаны. Среднемесячные значения, 2007 – 2016 гг. Приведены среднемесячные значения за 2007–2016 гг.: 1 – 2007 г., 2 – 2008 г., 3 – 2009 г., 4 – 2010 г., 5 – 2011 г., 6 – 2012 г., 7 – 2013 г., 8 – 2014 г., 9 – 2015 г., 10 – 2016 г. Приведены нижние границы показателя ПВ-1 в соответствии с местной шкалой КПО: 11 – IV КПО весна, 12 – IV КПО лето–осень, 13 – V КПО весна, 14 – V КПО лето–осень.

ся наивысшей степени пожарной опасности (Мелехов, 1947; Софронов, Волокитина, 2002; и др.). В связи с этим после пожароопасных сезонов, характеризующихся высокой и чрезвычайной степенью горимости, возникает необходимость корректировки оценки территорий лесничеств (или других субъектов) по степени природной пожарной опасности. В отдаленных районах корректировка возможна с использованием прогнозирования последствий воздействия пожаров на лесные экосистемы. На необходимость ежегодной актуализации карт КППО указывали А.С. Плотникова и Д.В. Ершов (2015). Авторами предложен метод актуализации карт для лесной территории с использованием спутниковых тематических продуктов. Отмечено, что совершенствование метода возможно при использовании данных высокого пространственного разрешения.

Оценка динамики природной пожарной опасности на основе разработанной нами методики прогноза состояния лесных насаждений после воздействия пожаров была апробирована на территории Нижнеангарского лесного района. Предварительно, с 2000 по 2006 г., был собран банк данных наземных исследований по оценке состояния древостоев после пожаров, проведено обобщение и статистическая обработка данных (табл. 3). Кроме того, для прогноза использовались данные

спутниковых систем, лесостроительные материалы и метеорологические сведения на период развития пожаров. Прогнозировались последствия пожаров 2006 г. Опытные работы по прогнозированию последствий воздействия пожаров были проведены для участков крупных пожаров в Кодинском и Гремучинском лесничествах. Сопреженный анализ съемки спутниковой системы Landsat-7 (за 2006 г.), метеорологических показателей и наземного банка данных с таксационными характеристиками участков земель лесного фонда позволил нам предположить послепожарный отпад в древостоях в каждом выделе (табл. 4). Так, крупный пожар растительности 2006 года в Кодинском лесничестве развивался с 1 по 31 июля при чрезвычайной опасности по погодным условиям, поскольку показатель ПВ-1 в этот период составлял от 6000 до 10000 единиц. Следовательно, предполагалось, что пожар развивал устойчивую форму и характеризовался высокой интенсивностью. Проведенная работа по прогнозированию состояния древостоев, пройденных пожаром, выявила, что значительная доля участков лесных земель после воздействия огня трансформировалась в гари. В 2007 г. на данном пожарном участке были проведены наземные исследования, которые позволили изучить последствия воздействия огня, контролировать и уточнить сделанный нами про-

Таблица 3. Отпад древостоев по запасу (%) в различных типах условий местопроизрастания и группах возраста в Нижнеангарском лесном районе в зависимости от силы и формы пожара

Интенсивность пожара	Тип условий местопроизрастания									
	А ₀ , А ₁ , песчаные очень сухие и сухие почвы		В ₁ , супесчаные сухие почвы		В ₂ , В ₃ , С ₂ , С ₃ , супесчаные и суглинистые свежие и влажные почвы			В ₄ , В ₅ , С ₄ , С ₅ , суглинистые сырые и мокрые почвы		
	средне-возрастные	спелые	средне-возрастные	спелые	средне-возрастные	спелые	перестойные	средне-возрастные	спелые	перестойные
Слабая	$\frac{45 \pm 1.3}{-^*}$	$\frac{3 \pm 0.4}{-^*}$	$\frac{25 \pm 1.5}{-^*}$	$\frac{8 \pm 0.9}{-^*}$	$\frac{19 \pm 1.2}{66 \pm 0.9}$	$\frac{13 \pm 0.7}{30 \pm 2.0}$	$\frac{17 \pm 2.4}{35 \pm 4.2}$	$\frac{-^{**}}{88 \pm 7.2}$	$\frac{-^{**}}{33 \pm 4.2}$	$\frac{-^{**}}{39 \pm 2.1}$
Средняя	$\frac{67 \pm 2.4}{-^*}$	$\frac{5 \pm 0.6}{-^*}$	$\frac{44 \pm 2.7}{-^*}$	$\frac{19 \pm 2.1}{-^*}$	$\frac{62 \pm 5.4}{86 \pm 2.6}$	$\frac{30 \pm 3.1}{71 \pm 6.4}$	$\frac{35 \pm 3.8}{86 \pm 0.7}$	$\frac{-^{**}}{96 \pm 3.7}$	$\frac{-^{**}}{73 \pm 3.7}$	$\frac{-^{**}}{83 \pm 3.3}$
Сильная	$\frac{100}{-^*}$	$\frac{75 \pm 6.9}{-^*}$	$\frac{87 \pm 8.3}{-^*}$	$\frac{42 \pm 3.3}{-^*}$	$\frac{100}{100}$	$\frac{72 \pm 3.5}{73 \pm 1.9}$	$\frac{79 \pm 7.2}{96 \pm 1.5}$	$\frac{-^{**}}{100}$	$\frac{-^{**}}{100}$	$\frac{-^{**}}{100}$

* Пожары не переходят в устойчивую форму из-за незначительного количества напочвенного горючего материала.

** Пожары распространяются при высоких классах пожарной опасности по условиям погоды и, как правило, имеют устойчивую форму.

Примечание. В числителе – отпад после воздействия беглых низовых пожаров, в знаменателе – отпад после воздействия устойчивых низовых пожаров.

Таблица 4. Предполагаемое состояние участков лесных земель после пожара 2006 г. в Кординском лесничестве в сравнении с данными наземных исследований 2007 г.

Лесной квартал, выдел	Состав, возраст древостоя	Тип условий местопроизрастания	Вид, форма и интенсивность пожара	Отпад, %*	Полнота**	Тип леса, гари ***	КППО****
Кв. 260, выд. 24	3Л1С2К 2Е1П1Б 190 лет	С3-4	Низовой, устойчивый, сильный	$\frac{100}{100}$	$\frac{0.4}{0}$	$\frac{\text{Л вкт}}{\text{гарь вейн}}$	$\frac{4}{1}$
Кв. 260, выд. 31	3К2П1Е 2Л1С1Б 250 лет	В2	Низовой, устойчивый, сильный	$\frac{96}{93}$	$\frac{0.5}{0.02}$	$\frac{\text{К осрт}}{\text{гарь кипр}}$	$\frac{3}{1}$
Кв. 261, выд. 25	3К3П2Е2Б 50 лет; ед.8Л2К 190 лет	В2	Верховой	$\frac{100}{100}$	$\frac{0.6}{0}$	$\frac{\text{К чзм}}{\text{гарь кипр}}$	$\frac{3}{1}$
Кв. 261, выд. 32	9С1Л+К 190 лет	В2	Низовой, устойчивый, средней	$\frac{71}{57}$	$\frac{0.7}{0.36}$	$\frac{\text{С чзм}}{\text{гарь кипр}}$	$\frac{3}{1}$
Кв. 262, выд. 36	8С1Л1К 190 лет	В2	Низовой, устойчивый, средней	$\frac{71}{55}$	$\frac{0.7}{0.32}$	$\frac{\text{С чзм}}{\text{вейн кипр}}$	$\frac{3}{1}$

* В числителе – прогнозируемый отпад от запаса древостоев, в знаменателе – фактический отпад, определенный по данным наземных исследований 2007 г.

** В числителе – полнота древостоя до пожара, в знаменателе – полнота древостоя после пожара.

*** В числителе – тип леса, гари до пожара, в знаменателе – тип леса, гари после пожара.

**** В числителе – КППО до пожара, в знаменателе – КППО после пожара. Примечание. Показатели до пожара взяты по данным таксационных описаний; тип леса (гари) после пожара определен по данным наземных исследований 2007 г.

Таблица 5. Распределение площади земель лесного фонда Кодинского лесничества по классам природной пожарной опасности

Участковые лесничества	Площадь, га	В том числе по классам пожарной опасности					Средний КППО
		1	2	3	4	5	
Цембинское	225413	<u>0</u>	<u>88946</u>	<u>116691</u>	<u>19776</u>	<u>0</u>	<u>2.7</u>
		5892	85978	113767	19776	0	2.7
Лаушкардинское	244172	<u>13179</u>	<u>145983</u>	<u>73623</u>	<u>11387</u>	<u>0</u>	<u>2.3</u>
		26634	132528	73623	11387	0	2.3
Пановское	297003	<u>0</u>	<u>111412</u>	<u>160695</u>	<u>24896</u>	<u>0</u>	<u>2.7</u>
		34027	112282	130112	20582	0	2.5
Всего по лесничеству, га	3197929	<u>27791</u>	<u>1034772</u>	<u>1513030</u>	<u>613001</u>	9335	<u>2.8</u>
		81165	1019219	1479523	608687		2.8
Всего по лесничеству, %	100	<u>0.9</u>	<u>32.3</u>	<u>47.3</u>	<u>19.2</u>	0.3	—
		2.5	31.8	46.3	19.1		

Примечание. В числителе – по данным лесоустройства 2005 г., в знаменателе – после пожаров 2006 г.

гноз (табл. 4). Фактические данные в 87% случаев подтвердили полученные при прогнозировании результаты.

Согласно полученным результатам, предложенная методика позволяет прогнозировать последствия воздействия пожаров с достаточно высокой достоверностью и может применяться в труднодоступных регионах для внесения текущих изменений в лесоводственно-таксационную характеристику насаждений. Применение данной методики возможно и в других районах, но с обязательным предварительным сбором и обработкой банка данных наземных исследований. Для увеличения точности оценки состояния участков лесных земель необходимо проведение исследований по совмещению результатов, полученных согласно изложенной методике, с прогнозом последствий воздействия пожаров по данным спутниковой съемки (Слинкина и др., 2008). Предложенная методика дает возможность не только оценить состояние насаждений после пожаров в каждом конкретном выделе, пройденном огнем, но и проводить переоценку природной пожарной опасности территорий субъектов в конце каждого напряженного пожароопасного сезона.

На основе полученного прогноза состояния участков лесных земель после воздействия пожаров нами была дана оценка динамики природной пожарной опасности в Гремучинском и Кодинском лесничествах Красноярского края, переоценены классы природной пожарной опасности выделов, пройденных пожарами 1996 и 2006 г. Затем был пересмотрен класс природной пожарной опасности по участковым лесничествам и лесничествам. Прогноз динамики пожарной опасности на территории Гремучинского лесничества, показал,

что площадь, трансформировавшаяся в I (очень высокий) КППО после воздействия 4 крупных пожаров 1996 и 2006 г., достигла 74.2 тыс. га, что составляет более 6% от общей площади земель лесного фонда. Средний класс природной пожарной опасности на территории Гремучинского лесничества увеличился с 2.6 до 2.5. В Кодинском лесничестве после воздействия 4 пожаров 2006 г. площадь, характеризующаяся I КППО, увеличилась на 53 тыс. га. В результате увеличения площади нарушенных лесных земель, в Пановском участковом лесничестве средний класс природной пожарной опасности повысился с 2.7 до 2.5 (табл. 5).

Соответственно полученным результатам переоценку природной пожарной опасности необходимо проводить в конце каждого напряженного пожароопасного сезона. Учет динамики пожарной опасности необходим, особенно в связи с переходом предприятий лесной отрасли на новые методы работы, предполагающие постоянную текущую инвентаризацию лесного фонда. При современном техническом и программном оснащении лесоустроительных предприятий возможность такой работы не вызывает сомнения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований позволяют утверждать, что пожарная опасность в каждом лесном районе Сибири характеризуется своими особенностями и динамикой во времени. Оценку природной пожарной опасности необходимо проводить на основе анализа напряженности пожароопасных сезонов с учетом зонально-географических особенностей лесных районов и отдельных территорий. Синтез материалов на-

земных исследований, лесоустроительной базы данных и данных космического мониторинга позволяет оценивать динамику природной пожарной опасности территорий на основе прогнозирования состояния лесных экосистем после воздействия пожаров. Разработка классификации природной пожарной опасности, соответствующей зонально-географическим особенностям расположения субъектов, составление на этой основе карт и своевременный учет динамики пожарной опасности позволят увеличить эффективность при организации охраны лесов от пожаров и минимизировать ущерб от пожаров растительности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анучин Н.П.* Лесная таксация. 5-е изд. М.: Лесная пром-сть, 1982. 552 с.
- Барталев С.А., Стыценко Ф.В., Егоров В.А., Лупян Е.А.* Спутниковая оценка гибели лесов России от пожаров // *Лесоведение*. 2015. № 2. С. 83–94.
- Буряк Л.В.* Лесообразовательный процесс в нарушенных пожарами светлехвойных насаждениях юга Сибири: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук (06.03.02). Красноярск: СибГТУ, 2015. 37 с.
- Буряк Л.В., Иванов В.А., Пономарев Е.И.* Лесопожарное районирование территории Красноярского края // *Лесные пожары и изменение климата. Проблемы управления пожарами в природных и культурных ландшафтах Евразии*. Новосибирск, 2013. С. 62.
- Валендик Э.Н.* Пожароуправление в лесах // *Региональные проблемы экосистемного лесоводства*. Красноярск: СО РАН, 2007. С. 223–224.
- Валендик Э.Н., Иванова Г.А.* Экстремальные пожароопасные сезоны в бореальных лесах Средней Сибири // *Лесоведение*. 1996. № 4. С. 12–19.
- Вонский С.М., Жданко В.А., Корбут В.И., Семенов С.М., Тетюшева Л.В., Загородняя Л.С.* Определение природной пожарной опасности в лесу // *Методические рекомендации*. Л.: ЛенНИИ лесн. хоз-ва, 1981. 51 с.
- Иванов В.А., Иванова Г.А.* Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск: Наука, 2010. 164 с.
- Ковалев Н.А.* Эффективность “Авиалесоохраны” в передовых технологиях // *Пожары в лесных экосистемах Сибири*. Красноярск: Институт леса СО РАН, 2008. С. 245.
- Коган Р.М., Глаголев В.А.* Тенденции изменения напряженности пожароопасных сезонов на территории Хабаровского края и Еврейской автономной области // *Региональные проблемы*. 2016. Т. 19. № 4. С. 75–83.
- Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Егоров В.А., Ершов Д.В., Кобец Д.А., Сенько К.С., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г.* Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активногорения) // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2017. Т. 14. № 6. С. 158–175.
<https://doi.org/10.21046/2070-7401-2017-14-6-158-175>
- Матвеев П.М.* Последствия пожаров в лиственных биогеоценозах на многолетней мерзлоте. Красноярск, СибГТУ, 2006. 268 с.
- Мелехов И.С.* Природа леса и лесные пожары. Архангельск: ОГИЗ, 1947. 60 с.
- Плотникова А.С., Ершов Д.В.* Метод актуализации классов природной пожарной опасности лесной территории с помощью спутниковых тематических продуктов // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. 2015. Т. 12. № 1. С. 181–189.
- Пономарев Е.И., Харук В.И.* Горимость лесов Алтае-Саянского региона в условиях наблюдаемых изменений климата // *Сибирский экологический журн.* 2016. № 1. С. 38–46.
- Приказ Рослесхоза от 05.07.2011 № 287 “Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды”. – URL: <http://docs.cntd.ru/document/902289183> (дата обращения: 21.09.2018).
- Скудин В.М., Сухинин А.И., Буряк Л.В., Каленская О.П., Пономарев Е.И.* Прогноз последствий пожаров в лесных экосистемах Нижнего Приангарья на основе комплексного ГИС-анализа // *Лесное хоз-во*. 2010. № 1. С. 36–38.
- Слинкина О.А., Сухинин А.И., Буряк Л.В.* Картографирование текущего состояния лесов Красноярского края с использованием данных дистанционного зондирования // *Вестник СибГАУ им. ак. М.Ф. Решетнева*. 2008. № 1(18). С. 70–74.
- Софронов М.А.* Связь пирологических характеристик и оценок как основа управления пожарами в бореальных лесах: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук (06.03.03). Красноярск: Институт леса СО РАН, 1998. 60 с.
- Софронов М.А., Волокитина А.В.* Пирологическая характеристика лесных экосистем вдоль трансекта // *Лесные экосистемы Енисейского меридиана*. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. С. 109–117.
- Сукачев В.Н., Зонн С.В.* Методические указания по изучению типов леса. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.
- Швиденко А.З., Щепаченко Д.Г.* Климатические изменения и лесные пожары в России // *Лесоведение*. 2013. № 5. С. 50–61.
- Шутов И.В., Рябинин Б.Н.* Лесная политика в условиях изменяющегося климата // *Лесное хоз-во*. М. 2009. № 2. С. 4–9.
- Flannigan M.D., Krawchuk M.A., de Groot W.J., Wotton B.M., Gowman L.M.* Implications of changing climate for global wildland fire // *International J. Wildland Fire*. 2009. V. 18. P. 483–507.
- Goldammer J.G., Stocks B.J., Sukhinin A.I., Ponomarev E.* Current fire regimes, impacts and the likely changes – II: Forest Fires in Russia – Past and Current Trends // *Vegetation fires and global change. Challenges for concerted international action: A white paper directed to the United Na-*

tions and international organizations. Remagen-Oberwinter: Kessel Publishing House, 2013. P. 51–76.

Groisman P.Y., Sherstyukov B.G., Razuvaev V.N., Knight R.W., Enloe J.G., Stroumentova N.S., Whitfield P.H., Førland E., Hannsen-Bauer I., Tuomenvirta H., Aleksandersson H., Mescherskaya A.V., Karl T.R. Potential forest fire danger over Northern Eurasia—Changes during the 20th century // *Global & Planetary Change*. 2007. V. 56. P. 371–386.

Groisman P., Shugart H., Kicklighter D., Henebry G., Tchebakova N., Maksyutov S., Monier E., Gutman G., Gulev S., Qi J., Prishchepov A., Kukavskaya E., Porfiriev B., Shiklomanov A., Loboda T., Shiklomanov N., Nghiem S., Bergen K., Albrechtova J., Chen J., Shahgedanova M., Shvidenko A., Speranskaya N., Soja A., de Beurs K., Bulygina O., McCarty J., Zhuang Q., Zolina O. Northern Eurasia Future Initiative (NEFI): facing the challenges and pathways of global change in the twenty-first century // *Progress in Earth and Planetary Science*. 2017. V. 4. P. 1–48.
<https://doi.org/10.1186/s40645-017-0154-5>

IPCC, 2013: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / Eds. Stocker T.F., Qin D., Plattner G.-K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. Cambridge-NY: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.

Jolly W.M., Cochrane M.A., Freeborn P.H., Holden Z.A., Brown T.J., Williamson G.J., Bowman D.M.J.S. Climate-induced variations in global wildfiredanger from 1979 to 2013 // *Nature Communications*. 2015. V. 6. Article number 7537. P. 1–11.
<https://doi.org/10.1038/ncomms8537>

Kharuk V.I., Dvinskaya M.L., Ranson K.J. Fire return intervals within the northern boundary of the larch forest in Central Siberia // *International J. Wildland Fire*. 2013. V. 22. № 2. P. 207–211.
<https://doi.org/10.1071/WF11181>

Kukavskaya E.A., Buryak L.V., Shvetsov E.G., Conard S.G., Kalenskaya O.P. The impact of increasing fire frequency on forest transformations in southern Siberia // *Forest Ecology & Management*. 2016. V. 382. P. 225–235.
<https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.015>

Kukavskaya E.A., Soja A.J., Petkov A.P., Ponomarev E.I., Ivanova G.A., Conard S.G. Fire emissions estimates in Siberia: Evaluation of uncertainties in area burned, land cover, and fuel consumption // *Canadian J. Forest Research*. 2013. V. 43. № 5. P. 493–506. Doi
<https://doi.org/10.1139/cjfr-2012-0367>

Vivechar A. Wildfires in Russia in 2000–2008: estimates of burnt areas using the satellite MODIS MCD45 data // *Remote Sensing Letters*. 2011. V. 2. № 1. P. 81–90.

Assessment of Fire Hazard and Its Dynamics in Forest Areas of Siberia

L. V. Buryak^{1,2,*}, E. A. Kukavskaya³, V. A. Ivanov², O. F. Malykh⁴, and R. V. Kotelnikov¹

¹*Center of the forest pyrology, development of forest ecosystem conservation, forest protection and regeneration technologies, Branch of the All-Russian Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry, Krupskoy st., 42, Krasnoyarsk, 660062 Russia*

²*Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Mira ave., 82, Krasnoyarsk, 660049 Russia*

³*Sukachev Institute of Forest SB RAS – separate subdivision of the FRC KSC SB RAS, Akademgorodok 50 bldg. 28, Krasnoyarsk, 660036 Russia*

⁴*Institute of Natural Resources, Ecology and Cryology, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Nedorezova st. 16a, Chita, 672014 Russia*

*E-mail: lburak@mail.ru

The existing methods for assessing fire hazard has been analyzed. For the forest regions of Siberia, which are known for the highest indicators of fire hazard, data has been assembled on the degree of natural and weather-dependent fire hazard as well as the hazard from a source of ignition. It was suggested to assess the natural fire hazard taking into account the geographical-zonal and general inflammability features of the forest-site types and forest regions of Siberia. The need to take into account the dynamics of fire hazard has been noted, especially after fire hazardous seasons, characterized by an extreme degree of inflammability. In remote areas, it has been proposed to assess the dynamics of the natural fire hazard of territories based on the predicted state of forest ecosystems after the impact of fires. The proposed method has been tested on the territory of the Nizhneangarsk forest region, and high reliability has been revealed in assessing the post-fire state of forest stands (in 87% of cases). Based on the prediction of the forest fire consequences, an assessment of the natural fire hazard dynamics in the Kodinsky and Gremuchinsky forest districts of the Krasnoyarsk Territory was carried out. There were also revealed significantly increased areas of forest lands characterized by the I class of natural fire hazard after the impact of several large fires in 1996 and 2006, and a fire hazard class increase in some of the forestry units and on the territory of the Gremuchinsky forest district as a whole.

Keywords: fire hazard, forest regions, geographical-zonal features, fire hazard dynamics, prediction method.

Acknowledgements: The work has been partially financed by RFBR (15-04-06567).

REFERENCES

- Anuchin N.P., *Lesnaya taksatsiya* (Forest taxation), Moscow: Lesnaya promyshlennost', 1982, 552 p.
- Bartalev S.A., Stytsenko F.V., Egorov V.A., Loupian E.A., Sputnikovaya otsenka gibeli lesov Rossii ot pozharov (Satellite-based assessment of Russian forest fire mortality), *Lesovedenie*, 2015, No. 2, pp. 83–94.
- Buryak L.V., Ivanov V.A., Ponomarev E.I., Lesopozharnoe raionirovanie territorii Krasnoyarskogo kraia (Forest fire zoning of the territory of the Krasnoyarsk Territory), In: *Lesnye pozhary i izmenenie klimata, Problemy upravleniya pozharami v prirodnykh i kul'turnykh landshaftakh Evrazii* (Forest fires and climate change. Problems of fire management in natural and cultural landscapes of Eurasia), Novosibirsk, 2013, pp. 62.
- Buryak L.V., *Lesobrazovatel'nyi protsess v narushennykh pozharami svetlokhvoinnykh nasazhdeniyakh yuga Sibiri. Avtoref. diss. d-ra s.-kh. nauk* (Forest forming process of light coniferous forests disturbed by fire in southern Siberia. Extended abstract of Doctor's agric. sci. thesis), Krasnoyarsk: SibGTU, 2015, 36 p.
- Flannigan M.D., Krawchuk M.A., de Groot W.J., Wotton B.M., Gowman L.M., Implications of changing climate for global wildland fire, *International J. Wildland Fire*, 2009, Vol. 18, pp. 483–507.
- Goldammer J.G., Stocks B.J., Sukhinin A.I., Ponomarev E., Current fire regimes, impacts and the likely changes – II: Forest Fires in Russia – Past and Current Trends, In: *Vegetation fires and global change. Challenges for concerted international action: A white paper directed to the United Nations and international organizations*, Remagen-Oberwinter: Kessel Publishing House, 2013, pp. 51–76.
- Groisman P., Shugart H., Kicklighter D., Henebry G., Tchebakova N., Maksyutov S., Monier E., Gutman G., Gulev S., Qi J., Prishchepov A., Kukavskaya E., Porfiriev B., Shiklomanov A., Loboda T., Shiklomanov N., Nghiem S., Bergen K., Albrechtova J., Chen J., Shahgedanova M., Shvidenko A., Speranskaya N., Soja A., de Beurs K., Bulygina O., McCarty J., Zhuang Q., Zolina O., Northern Eurasia Future Initiative (NEFI): facing the challenges and pathways of global change in the twenty-first century, *Progress in Earth and Planetary Science*, 2017. Vol. 4, pp. 1–48, DOI 10.1186/s40645-017-0154-5
- Groisman P.Y., Sherstyukov B.G., Razuvaev V.N., Knight R.W., Enloe J.G., Stroumentova N.S., Whitfield P.H., Førland E., Hannsen-Bauer I., Tuomenvirta H., Aleksandersson H., Mescherskaya A.V., Karl T.R., Potential forest fire danger over Northern Eurasia-Changes during the 20th century, *Global & Planetary Change*, 2007, Vol. 56, pp. 371–386.
http://docs.cntd.ru/document/902289183 (September 21, 2018).
- IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge-NY: Cambridge University Press, 2013. 1535 p.
- Ivanov V.A., Ivanova G.A., *Pozhary ot groz v lesakh Sibiri* (Fires from thunderstorms in the forests of Siberia), Novosibirsk: Nauka, 2010, 160 p.
- Jolly W.M., Cochrane M.A., Freeborn P.H., Holden Z.A., Brown T.J., Williamson G.J., Bowman D.M.J.S., Climate-induced variations in global wildland fire danger from 1979 to 2013, *Nature Communications*, 2015, Vol. 6, Article number 7537, pp. 1–11.
https://doi.org/10.1038/ncomms8537
- Kharuk V.I., Dvinskaya M.L., Ranson K.J., Fire return intervals within the northern boundary of the larch forest in Central Siberia, *International J. Wildland Fire*, 2013, Vol. 22, No. 2, pp. 207–211,
https://doi.org/10.1071/WF11181
- Kogan R.M., Glagolev V.A., Tendentsii izmeneniya napryazhennosti pozharoopasnykh sezonov na territorii Khabarovskogo kraia i Evreiskoi avtonomnoi oblasti (Trends in the intensity of fire seasons tension in Khabarovsk territory and Jewish autonomous region), *Regional'nye problemy*, 2016, Vol. 19, No. 4, pp. 75–83.
- Kovalev N.A., Effektivnost' "Avialesookhrany" v pere-dovykh tekhnologiyakh (The effectiveness of "Avialesookhrana" in advanced technologies), In: *Pozhary v lesnykh ekosistemakh Sibiri* (Fires in forest ecosystems of Siberia), Krasnoyarsk: Institut lesa SO RAN, 2008, pp. 245.
- Kukavskaya E.A., Buryak L.V., Shvetsov E.G., Conard S.G., Kalenskaya O.P., The impact of increasing fire frequency on forest transformations in southern Siberia, *Forest Ecology & Management*, 2016, Vol. 382, pp. 225–235,
http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.015
- Kukavskaya E.A., Soja A.J., Petkov A.P., Ponomarev E.I., Ivanova G.A., Conard S.G., Fire emissions estimates in Siberia: Evaluation of uncertainties in area burned, land cover, and fuel consumption, *Canadian J. Forest Research*, 2013, Vol. 43, No. 5, pp. 493–506, DOI 10.1139/cjfr-2012-0367
- Lupyan E.A., Bartalev S.A., Balashov I.V., Egorov V.A., Ershov D.V., Kobets D.A., Sen'ko K.S., Stytsenko F.V., Sychugov I.G., Sputnikovyi monitoring lesnykh pozharov v 21 veke na territorii Rossiiskoi Federatsii (tsifry i fakty po dannym detektirovaniya aktivnogo goreniya) (Satellite monitoring of forest fires in the 21st century in the territory of the Russian Federation (facts and figures based on active fires detection)), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2017, Vol. 14, No. 6, pp. 158–175.
- Matveev P.M., *Posledstviya pozharov v listvennichnykh biogeotsenozakh na mnogoletnei merzlotte* (Consequences of fires in larch biogeocenoses on permafrost), Krasnoyarsk: SibGTU, 2006, 268 p.
- Melekhov I.S., *Priroda lesa i lesnye pozhary* (Forest nature and forest fires), Arkhangel'sk: OGIZ, 1947, 60 p.
- Plotnikova A.S., Ershov D.V., Metod aktualizatsii klassov prirodnoi pozharnoi opasnosti lesnoi territorii s pomoshch'yu sputnikovykh tematicheskikh produktov (The method to update maps of forest natural fire danger levels using satellite-derived thematic products), *Sovremennye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa*, 2015, Vol. 12, No. 1, pp. 181–189.
- Ponomarev E.I., Kharuk V.I., Wildfire Occurrence in Forests of the Altai–Sayan Region under Current Climate Changes, *Contemporary Problems of Ecology*, 2016, Vol. 9, No. 1, pp. 29–36.
- Shutov I.V., Ryabinin B.N., Lesnaya politika v usloviyakh izmenyayushchegosya klimata (Forest policy in a changing climate), *Lesnoe khozyaistvo*, 2009, No. 2, pp. 4–9.
- Shvidenko A.Z., Shchepashchenko D.G., Climate change and wildfires in Russia, *Contemporary Problems of Ecology*, 2013, Vol. 6, No. 7, pp. 683–692.

- Skudin V.M., Sukhinin A.I., Buryak L.V., Kalenskaya O.P., Ponomarev E.I., Prognoz posledstviy pozharov v lesnykh ekosistemakh Nizhnego Priangar'ya na osnove kompleksnogo GIS-analiza (Forecast of the consequences of fires in forest ecosystems of the Lower Angara region based on a multivariate GIS analysis), *Lesnoe khozyaistvo*, 2010, No. 1, pp. 36–38.
- Slinkina O.A., Sukhinin A.I., Buryak L.V., Kartografirovaniye tekushchego sostoyaniya lesov Krasnoyarskogo kraya s ispol'zovaniem dannykh distantsionnogo zondirovaniya (Up-to date forest mapping of south and central taiga zones of Krasnoyarsk region using remote sensing data), *Vestnik SibGAU im. ak. M.F. Reshetneva*, 2008, No. 1(18), pp. 70–74.
- Sofronov M.A., *Svyaz' pirologicheskikh kharakteristik i otsenok kak osnova upravleniya pozharami v boreal'nykh lesakh. Avtoref. dis. d-ra s.-kh. nauk* (Connection between pyrological characteristics and estimates as a basis for fire management in boreal forests. Extended abstract of Doctor's agric. sci. thesis), Krasnoyarsk: Institut lesa SO RAN, 1998, 60 p.
- Sofronov M.A., Volokitina A.V., Pirologicheskaya kharakteristika lesnykh ekosistem vdol' transekta (Pyrological characteristics of forest ecosystems along the transect), In: *Lesnye ekosistemy Eniseiskogo meridiana* (Forest ecosystems of the Yenisei meridian), Novosibirsk: Izd-vo SO RAN, 2002, pp. 109–117.
- Sukachev V.N., Zonn S.V., *Metodicheskie ukazaniya k izucheniyu tipov lesa* (Guidelines for the forest types study), Moscow: Izd. AN SSSR, 1961, 144 p.
- Valendik E.N., Ivanova G.A., Ekstremal'nye pozharopasnye sezony v boreal'nykh lesakh Srednei Sibiri (Extreme fire seasons in the boreal forests of Central Siberia), *Lesovedenie*, 1996, No. 4, pp. 12–19.
- Valendik E.N., Pozharoupravlenie v lesakh (Fire management in forests), In: *Regional'nye problemy ekosistemnogo lesovodstva* (Regional problems of ecosystem forestry), Krasnoyarsk: SO RAN, 2007, pp. 223–224.
- Vivchar A., Wildfires in Russia in 2000–2008: estimates of burnt areas using the satellite MODIS MCD45 data, *Remote Sensing Letters*, 2011, Vol. 2, No. 1, pp. 81–90.
- Vonskii S.M., Zhdanko V.A., Korbut V.I., Semenov S.M., Tetyusheva L.V., Zagorodnyaya L.S., Opredelenie prirodnoi pozharnoi opasnosti v lesu (Determination of natural fire hazard in the forest), In: *Metodicheskie rekomendatsii* (Methodical recommendations), Leningrad: LenNII lesn. khoz-va, 1981, pp. 51.