

## ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

УДК 630.431

### ЛЕСНЫЕ ПОЖАРЫ И ПРИЧИНЫ ИХ ВОЗНИКНОВЕНИЯ НА ТЕРРИТОРИИ СРЕДНЕЙ СИБИРИ

Г. А. Иванова, В. А. Иванов, А. В. Мусохранова, А. А. Онучин

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

E-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru, ivanovv53@yandex.ru, nastya.krasn@mail.ru, onuchin@ksc.krasn.ru

*Поступила в редакцию 31.08.2023 г.*

На территории Средней Сибири ежегодно возникают сотни лесных пожаров, распространяющиеся на огромные площади, а в последние десятилетия число их и пройденная площадь значительно возросли, также увеличилась средняя площадь одного пожара. Все это свидетельствует о недостаточной эффективности организации охраны лесов. Максимальное число пожаров приходится на Нижнеангарский таежный район с преобладающими сосновыми насаждениями, в которых с середины прошлого века активно проводятся сплошные рубки. Наибольшая площадь, пройденная лесными пожарами, зарегистрирована в Среднесибирском плоскогорном таежном районе, где леса малодоступны и выделена зона контроля. Здесь также зафиксировано самое большое количество пожаров от гроз (93.1 %). В основном крупные катастрофические пожары действовали в зоне контроля. Анализ метеофакторов, влияющих на возникновение лесных пожаров на примере отдельных лесных районов, и полученные регрессионные модели зависимости числа пожаров от температуры и осадков в современных условиях позволили установить главные причины возникновения пожаров: интенсивное хозяйственное освоение лесных территорий, появление значительного количества антропогенных источников огня и увеличение грозовой активности вследствие изменения климата. Использование регрессионной модели связи количества лесных пожаров со средней температурой воздуха и суммой осадков за пожароопасный сезон позволяет качественно оценить систему охраны лесов от лесных пожаров. В то же время в отдельных лесных районах наблюдается снижение эффективности охраны лесов от пожаров, рост числа которых обусловлен климатическими изменениями.

**Ключевые слова:** *крупные и катастрофические лесные пожары, сосновые насаждения, сплошные рубки, грозовая активность, пожароопасный сезон, изменения климата, система охраны лесов от пожаров.*

DOI: 10.15372/SJFS20230602

#### ВВЕДЕНИЕ

В лесах Сибири ежегодно возникают тысячи пожаров. При этом высокая горимость и частая повторяемость пожаров присущи низкогорным светлохвойным лесам Восточной Сибири и, наоборот, редкая повторяемость пожаров определяет пожарный режим заболоченных темнохвойных лесов Западной Сибири (Валендик, 1990). Тенденции возникновения и распространения пожаров могут претерпевать значительные из-

менения в связи с актуальными климатическими трендами (Kasischke et al., 1995; Goldammer, Price, 1998). Увеличение частоты пожаров также связано с ростом грозовой активности (Flannigan, Wotton, 1991; Иванов и др., 2023; Ivanov et al., 2023). В зоне бореальных лесов пожары могут стать более интенсивными и усилить воздействие на экосистему (Kasischke et al., 1995). В то же время прогнозировать изменения региональных и локальных пожарных режимов только на основе климатических колебаний не-

корректно, поскольку они также обусловлены источниками огня и действующими системами борьбы с лесными пожарами (Телицын, 1989; Weber, Flannigan, 1997).

Пожарная опасность леса определяется не только наличием горючих материалов, их видом, количеством и наличием источников огня, но и погодными условиями, определяющими их высыхание. Связь возникновения лесных пожаров с засушливыми погодными условиями известна издавна и использовалась в системе прогнозирования с 30–40-х годов прошлого столетия (Мелехов, 1947; Курбатский, 1963).

Для оценки пожарной опасности разработан комплексный показатель горимости В. Г. Нестерова (1949), включающий осадки и температуру воздуха. В последующие десятилетия предлагались различные пути улучшения методики определения пожарной опасности и разработаны показатели влажности ПВ-1 и ПВ-2, подробно учитывающие осадки (Жданко, 1960; Вонский и др., 1975). Показатели Нестерова и ПВ-1 используются до настоящего времени.

Цель настоящей работы – проанализировать количество пожаров в лесах Средней Сибири за последние десятилетия на примере лесных районов Красноярского края, а также выявить причины и метеоусловия, определяющие их возникновение, для оценки эффективности действующей системы охраны лесов.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

При анализе горимости лесов использованы статистические данные Рослесхоза РФ (Информационная система..., 2023) о количестве и площади лесных пожаров, сроках их действия и причинах возникновения за 2000–2022 гг.

Для оценки влияния условий погоды на возникновение пожаров взяты данные по средней температуре и осадкам за пожароопасный сезон для каждого лесного района. Используются открытые данные по температуре воздуха и осадкам метеостанций Ванавары, Бор, Ярцево, Богучаны, Пировское, Ермаковское и Усинск за 23-летний период. При анализе причин возникновения лесных пожаров использованы данные по грозовой активности, а также информация о численности населения и площадях вырубок.

Фактические характеристики горимости, такие как количество и частота пожаров, показатель горимости территорий оценивались по методике М. А. Софронова и А. В. Волокитиной

(1990). Частота возникновения пожаров и относительная площадь пожаров рассчитывались за пожароопасный сезон стандартными методами.

Для оценки лесной территории по фактической горимости за анализируемый период принята шкала оценки степени горимости лесов, разработанная М. А. Софроновым и А. В. Волокитиной (1990).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Территория Красноярского края включает четыре лесорастительные зоны и восемь лесных районов. Ввиду сложности рельефа, разнообразия климатических и лесорастительных условий показатели горимости анализировались отдельно для каждого лесного района. Среднесибирский район притундровых лесов и редкостойной тайги из-за отсутствия информации о лесных пожарах в данном районе в статье не рассматривается.

На территории края за 1990–2022 гг. зарегистрировано более 35 тыс. пожаров растительности на площади свыше 7600 тыс. га (Информационная система..., 2023). Площадь пожаров по годам варьировала от 6 тыс. га (2009 г.) до 2257 тыс. га (2019 г.) (рис. 1).

Преобладали низовые пожары разной интенсивности (до 90 %), беглые весной и устойчивые в летний период. Более 44 % всех пожаров регистрировались весной (в апреле-мае), что обусловлено неконтролируемыми сельскохозяйственными палами в лесостепной зоне. В летние месяцы возникало до 52 % лесных пожаров и около 4 % в осенний период (с сентября по октябрь). Максимумы числа пожаров в отдельные годы обусловлены продолжительными антициклонами с сухой и ветреной погодой (Валендик, 1990).

Сравнение средней ежегодной лесной площади, пройденной пожарами, по десятилетиям позволило выявить тенденцию на ее увеличение (рис. 2).

Средняя площадь одного пожара в период с 1990 по 1999 г. составляла 89.4 га, с 2000 по 2010 г. – 90.4 га, а с 2011 по 2022 г. – 272.6 га, т. е. возросла более чем в 3 раза за последнее десятилетие. В 2018 и 2019 гг. за сезон она составила 905 и 1000 га соответственно. Такой существенный рост средней площади пожара свидетельствует о снижении эффективности системы обнаружения и тушения пожаров.

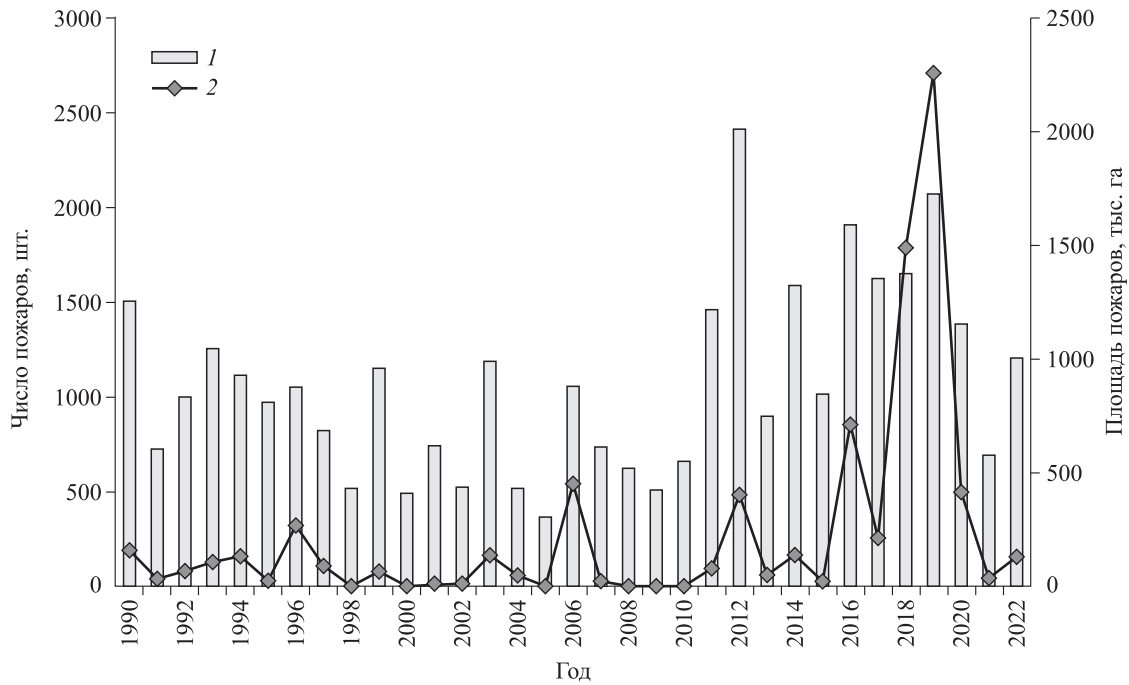


Рис. 1. Число (1) и площадь (2) лесных пожаров за 1990–2022 гг.

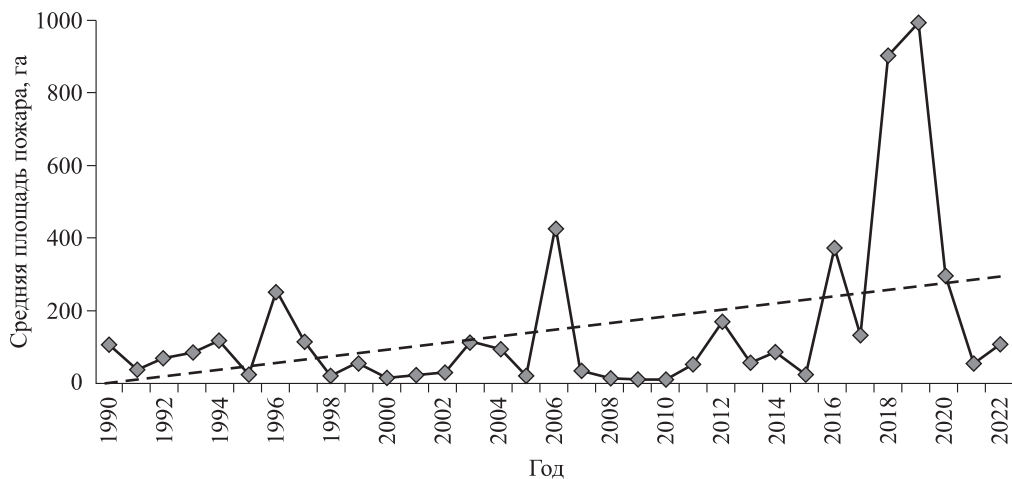


Рис. 2. Средняя площадь пожара за пожароопасный сезон.

Анализ показал, что лесные пожары распределены по лесным районам края неравномерно (табл. 1, рис. 3).

Основное число пожаров приходится на Нижнеангарский таежный район, где произрастают сосновые леса и имеются большие площади вырубок, быстро достигающие состояния пожарной зрелости. Наибольшая площадь, пройденная пожарами, зафиксирована в Среднесибирском плоскогорном таежном районе (30 % от общей площади), где леса малодоступны и выделена зона контроля. По этим же причинам здесь больше всего средняя площадь одного пожара, а также количество лесных пожаров от гроз (93.1 %).

Эколого-географические особенности возникновения лесных пожаров на территории Красноярского края обусловлены высокой природной пожарной опасностью лесов и их фитоценоотическими особенностями в связи с географической зональностью. Они проявляются в периодичности возникновения лесных пожаров, их распространении и развитии и, как следствие, в экологических последствиях. На возникновение и развитие пожаров влияют продолжительность и сроки начала пожароопасного сезона. Продолжительность пожароопасного сезона возрастает с севера на юг в среднем от 88 до 187 дней и зависит от географической широты.

Таблица 1. Характеристика горимости лесов по лесным районам

Лесной район	Класс природной пожарной опасности	Пожары, % от общего числа	Площадь пожаров		Причины пожаров, %	
			% от общей площади	средняя, га	грозы	антропогенные
Среднесибирский плоскогорный таежный	2.8	9.6	30.0	952	93,1	3.0
Западно-Сибирский среднетаежный равнинный	3.2	8.1	3.2	122	77.7	18.2
Нижнеангарский таежный	2.6	42.6	24.2	172	46.2	37.8
Западно-Сибирский южно-таежный равнинный	3.2	2.1	0.1	18	30.6	64.3
Среднесибирский подтаежно-лесостепной	3.3	15.2	11.5	22.9	2.9	74.5
Алтае-Саянский горно-таежный	3.3	17.7	1.4	24.7	21.8	59.9
Алтае-Саянский горно-лесостепной	2.6	4.5	29.0	19.8	13.1	65.9

Основные причины возникновения лесных пожаров – антропогенные, в число которых включены пожары не только по вине местного населения, но и связанные с его хозяйственной или иной деятельностью. Пожары от гроз составляют до 93.1 % на севере в таежной зоне и менее 3 % в лесостепной зоне (Иванов, Иванова, 2010).

На территории Среднесибирского плоскогорного таежного и Западно-Сибирского среднетаежного равнинного районов – наибольшая средняя площадь пожара (952 га) (табл. 1). Основное количество пожаров происходит в июне-июле. На долю пожаров от гроз на севере приходится более 90 %, а на юге до 46 %.

Нижнеангарский таежный и Западно-Сибирский южно-таежный равнинный районы, расположены в подзоне южной тайги и здесь возникает до 42.6 % от общего числа пожаров в Красноярском крае и их максимум приходится

на май-июнь. Доля пожаров от гроз составляет до половины всех возгораний.

В Среднесибирском подтаежно-лесостепном районе с преобладанием насаждений разнотравных типов леса проявляется резко выраженная зависимость возникновения пожаров с вегетацией растительного покрова. Проблему пожаров в лесостепных районах создают степные пожары от сельскохозяйственных палов, которые возникают уже в марте. В мае их число снижается, но большинство степных пожаров переходят в лесные массивы. Основная причина пожаров – антропогенные источники огня (74.5 %). Преобладают низкоинтенсивные беглые низовые пожары.

Южно-Сибирская горная зона включает Алтае-Саянский горно-таежный и Алтае-Саянский горно-лесостепной районы. В горной части территории зоны произрастают кедрово-пихтовые и лиственнично-кедровые леса, а в степной пре-

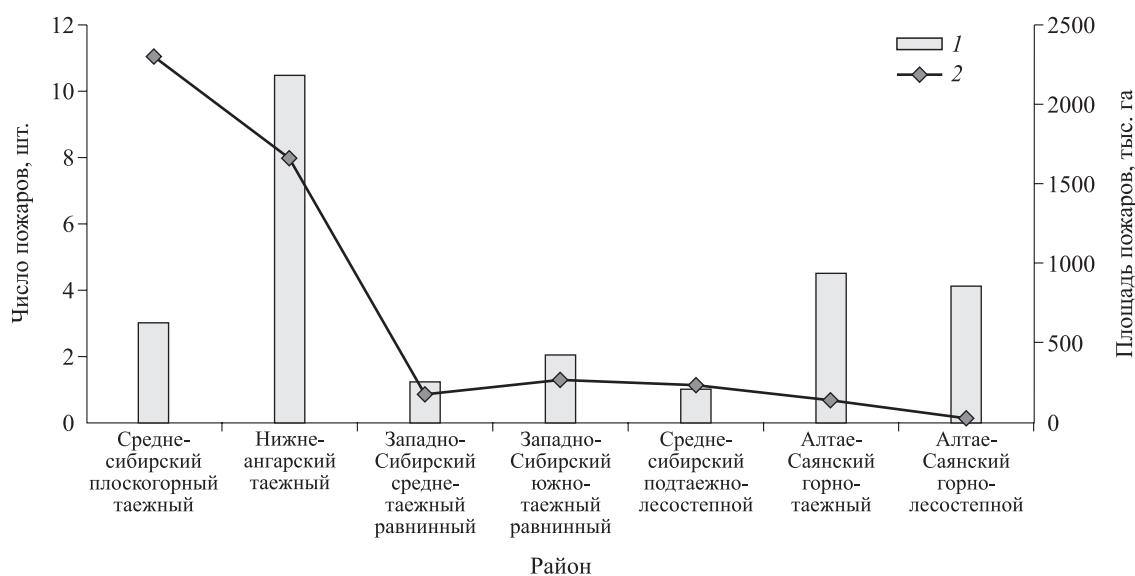


Рис. 3. Число (1) и площадь (2) пожаров в лесных районах Красноярского края (2000–2022 гг.).

**Таблица 2.** Коэффициент корреляции количества пожаров с метеорологическими показателями и средним классом пожарной опасности за 2000–2022 гг.

Показатель	Авиационные отделения					
	Ванаварское	Подкаменно-Тунгусское	Ярцевское	Богучанское	Пировское	Усинское
Средняя температура за сезон	0.19	0.05	0.17	0.17	0.18	0.28
Сумма осадков за сезон	-0.52	-0.68	-0.46	-0.59	-0.45	-0.52
Средний КПО по условиям погоды за пожароопасный сезон	0.26	0.6	0.79	0.68	0.36	0.46

обладают сосновые и лиственничные насаждения. Пожары регистрируются с апреля по август, но максимум приходится на май–июнь. Основное их количество возникает по вине местного населения (до 75 %). Лесные пожары – низовые, часто переходящие в верховые. Крупные лесные пожары, на долю которых приходится до 90 % выгоревшей площади, возникают на фоне массовых пожаров в экстремальные пожароопасные сезоны (Валендик, 1990).

В 2019–2020 гг. сложилась экстремальная ситуация с пожарами в Среднесибирском плоскогорном таежном районе. Основное количество крупных и катастрофических пожаров действовало в зоне контроля, к которой относятся труднодоступные и удаленные лесные территории, где тушение огня экономически нецелесообразно, если пожары не угрожают населенным пунктам или объектам экономики. Это неохранные территории и на их долю только в Красноярском крае приходится 76.3 % земель лесного фонда. Как показала практика последних лет, именно здесь развивается большая часть катастрофических лесных пожаров.

На количество возникающих пожаров оказывают влияние природные условия, грозовая активность и антропогенные факторы. Интенсивное хозяйственное освоение лесов способствует появлению дополнительных источников огня и приводит к изменению их природной пожарной опасности. В тоже время причиной роста количества пожаров в последние десятилетия может быть и изменение погодных условий. Для выяснения причин, вызывающих рост пожарной опасности, проведен анализ динамики количества пожаров в связи с метеорологическими условиями по шести авиационным отделениям разных лесных районов Красноярского края (табл. 2).

По всем авиационным отделениям выявлена слабая связь количества лесных пожаров со средней температурой за сезон (коэффициент корреляции в интервале 0.05–0.28) и более тес-

ная обратная связь количества лесных пожаров с суммой осадков за пожароопасный сезон (коэффициент корреляции в интервале 0.45–0.68).

Тесная связь количества лесных пожаров с показателями класса пожарной опасности (КПО) по условиям погоды выявлена в Ярцевском (Западно-Сибирский среднетаежный равнинный район) и Богучанском (Нижнеангарский таежный район) авиационных отделениях (коэффициент корреляции в интервале 0.68 и 0.79).

Средняя связь пожаров прослеживается в Подкаменно-Тунгусском (Среднесибирский плоскогорно-таежный район), Пировском (Западно-Сибирский южно-таежный равнинный и Среднесибирский подтаежно-лесостепной районы) и Усинском (Алтае-Саянский горно-таежный район) авиационных отделениях. Слабая связь установлена для Ванаварского авиационного отделения (Среднесибирский плоскогорный таежный район).

Очевидно, что погодные условия во многом определяют пожароопасную ситуацию и влияют на возникновение пожаров, в комплексе обеспечивая так называемый синергетический эффект. Чтобы оценить совместное влияние погодных условий на пожарную опасность, исходные данные, в качестве которых служили суммы осадков, средние температуры воздуха, количество пожаров за пожароопасный сезон и их площади, обработаны методом множественного регрессионного анализа (Statistica 10..., 2023).

Связь площади лесных пожаров со средней температурой и суммой осадков по всем авиационным отделениям выявлена очень слабая. Возможно, это обусловлено несовершенством действующей системы пожароуправления, в первую очередь несвоевременным обнаружением и возможностями тушения лесных пожаров.

Связь количества возникающих пожаров с метеорологическими условиями для большинства авиационных отделений оказалась достоверной. В результате для каждого из отделений получены регрессионные модели (табл. 3). При

**Таблица 3.** Регрессионные модели связи числа лесных пожаров со средней температурой воздуха и суммой количества осадков за пожароопасный сезон

Лесной район	Метеостанция	Корреляционная модель	Климатический тренд				
			$R^2$	$\sigma$	$F$	Температура	Количество осадков
Среднесибирский плоскогорный таежный	Бор	$N = 51 - 17 \times \ln\left(\frac{X}{T}\right)$	0.53	6.3	23.7	Растет слабо	Снижается (тренд выражен слабо)
	Ванавары	$N = 974 - 250 \times \ln\left(\frac{X}{T}\right)$	0.36	76.4	12.08	Растет	Снижается
Западно-Сибирский среднетаежный равнинный	Ярцево	$N = 280 - 124 \times \ln\left(\frac{X}{T}\right) + 0.36 \times X$	0.70	22.7	23.3	»	Снижается (тренд выражен слабо)
Нижнеангарский таежный	Богучаны	$N = 386 - 86.6 \times \ln\left(\frac{X}{T}\right)$	0.43	25.1	15.94	»	Снижается
Западно-Сибирский южно-таежный равнинный Среднесибирский подтаежно-лесостепной	Пировское	$N = 2825 - 788 \times \ln\left(\frac{X}{T}\right) + 2.15 \times X - 72.9 \times X$	0.444	34.7	5.06	»	Снижается (тренд выражен сильно)
Алтае-Саянский горно-лесостепной	Ермаковское	$N = 651 - 156 \times \ln\left(\frac{X}{T}\right)$	0.168	59.9	4.25	»	Снижается
Алтае-Саянский горно-таежный	Усинск	$N = 473 - 161 \times \ln\left(\frac{X}{T}\right) + 0.35 \times X$	0.51	10.4	5.06	Растет слабо	»

Примечание.  $N$  – число пожаров, шт.;  $X$  – сумма осадков, мм;  $T$  – средняя температура воздуха, °С с апреля по октябрь по метеостанциям Ванавары, Богучаны, Пировское, Ермаковское, Усинск и с июня по август по метеостанциям Ярцево и Бор;  $R^2$  – коэффициент множественной детерминации;  $\sigma$  – стандартная ошибка уравнения, га;  $F$  – критерий Фишера.

этом установлено, что по всем лесным районам наблюдается рост средних температур, а сумма количества осадков снижается, и особенно четко это прослеживается по метеостанции Пировское (Западно-Сибирский южно-таежный равнинный и Среднесибирский подтаежно-лесостепной районы).

На территориях Ванаварского (Среднесибирский плоскогорный таежный район), Богучанского (Нижнеангарский таежный район) и Пировского (Западно-Сибирский южно-таежный равнинный и Среднесибирский подтаежно-лесостепной районы) авиационных отделений анализ автокорреляции остатков уравнения свидетельствует о том, что со временем фактическое число пожаров начинает превышать прогнозируемое по условиям погоды, что, вероятно, свидетельствует о несовершенстве действующей системы охраны лесов от пожаров, которая не успевает адаптироваться к изменению климата.

Анализ модели связи числа пожаров по Среднесибирскому плоскогорному таежному району по метеостанции Бор свидетельствует о том, что погодные условия объясняют 53 % его изменчивости. По Борскому авиационному отделению не выявлено положительной автокорреляции остатков для уравнения. Следовательно, служба охраны лесов от пожаров успешно справляется со своими задачами. По Ванаварскому авиационному отделению этого же лесного района по метеостанции Ванавары погодные условия объясняют только 36 % изменчивости количества пожаров. Анализ автокорреляции остатков уравнения показал, что со временем фактическое число пожаров начинает превышать число возникающих по условиям погоды. Это подтверждает низкий коэффициент корреляции связи со средним КПО по условиям погоды за сезон с числом пожаров ( $R = 0.26$ ) (табл. 2). Ежегодное расхождение составляет  $\pm 5.7$  пожара. Таким образом, за прошедшие 20 лет фактическое число

пожаров, по сравнению с прогнозируемым по условиям погоды, увеличилось на 114. Очевидно, это подтверждает, что действующая система охраны лесов от пожаров не учитывает изменившиеся социально-экономические и природные условия.

Также наблюдается увеличение количества пожаров по Богучанскому и Пировскому авиационным отделениям. Анализ модели связи количества пожаров по Богучанскому авиационному отделению показал, что погодные условия объясняют 43 % изменчивости количества пожаров. Ежегодное расхождение составляет  $\pm 1.65$  пожара. За прошедшие 20 лет фактическое число пожаров по сравнению с прогнозируемым по условиям погоды увеличилось на 33 пожара. Климатический тренд: температуры растут, количество осадков снижается.

Анализ модели связи числа пожаров по Пировскому авиационному отделению, территория которого располагается в двух лесных районах – Западно-Сибирском южно-таежном равнинном и Среднесибирском подтаежно-лесостепном, показал, что погодные условия объясняют 44.4 % изменчивости количества пожаров. Ежегодное расхождение составляет  $\pm 1.45$  пожара. Таким образом, за прошедшие 20 лет фактическое число пожаров по сравнению с прогнозируемым по условиям погоды увеличилось на 29 пожаров. Климатический тренд выражен сильно – температуры растут, количество осадков снижается. Необходимо по этим двум отделениям усилить охрану лесов от пожаров с учетом изменений.

Анализ автокорреляции остатков уравнения связи числа пожаров с погодными условиями по Подкаменно-Тунгусскому (Среднесибирский плоскогорно-таежный район), Ярцевскому (Западно-Сибирский среднетаежный равнинный район) и Усинскому (Алтае-Саянский горно-таежный район) авиационным отделениям свидетельствует об относительно хорошем совпадении числа пожаров, прогнозируемых по условиям погоды, с их фактическим числом. По Подкаменно-Тунгусскому и Ярцевскому авиационным отделениям климатический тренд выражен слабо – температуры растут, количество осадков снижается.

По Усинскому авиационному отделению снижению числа пожаров способствует увеличение количества осадков в районе, в связи с чем не требуется усиление охраны лесов от пожаров. Поскольку пожарная опасность обусловлена не только количеством атмосферных осадков и

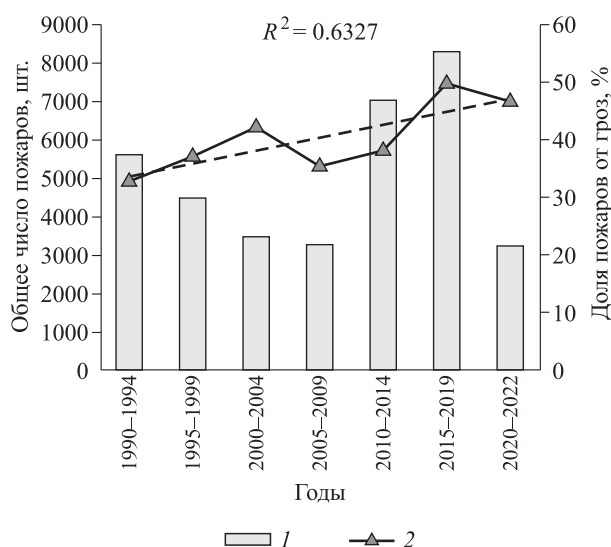


Рис. 4. Число пожаров (1) и доля пожаров от гроз (2) в лесах Красноярского края за 1990–2022 гг.

температурой воздуха за пожароопасный сезон, были рассмотрены и такие факторы, как наличие источников огня, к которым относятся изменение грозовой активности и хозяйственное освоение лесных территорий. Выявлено, что доля пожаров от гроз от общего числа лесных пожаров на территории Средней Сибири значительно увеличилась за последние 30 лет (рис. 4).

В настоящее время пожары от гроз в северных лесных районах (Среднесибирский район притундровых лесов и редкостойной тайги, Среднесибирский плоскогорный таежный район и Западно-Сибирский среднетаежный равнинный район) составляют от 77 до 93 % всех лесных пожаров (табл. 1). Рост количества пожаров от гроз в большинстве северных районов объясняется увеличением продолжительности грозовой активности. Территория Средней Сибири характеризуется усилением грозовой активности от 29 до 42 % относительно средне-статистической нормы конца XX в. (Иванов и др., 2023; Ivanov et al., 2023).

Чем же обусловлено, что для одних территорий авиационных отделений количество пожаров, прогнозируемых по условиям погоды, совпадает, а по другим нет? Для каждого авиационного отделения характерны свои причины. Так, в зоне ответственности Ванаварского авиационного отделения охрана лесов осуществляется на площади более 10 млн га. Леса произрастают здесь на холмистой местности, где работают всего две метеорологические станции. Для охраняемой территории характерно большое разнообразие физико-географических усло-

вий, способствующих неравномерному скачкообразному изменению погоды. Возможно, что в одной части данной местности погодные условия благоприятствуют возникновению пожаров, а в другой идет дождь. Наличие только двух метеорологических станций не способствует интерполяции значений метеорологических элементов, особенно осадков, и не позволяет с достаточной точностью оценить пожарную опасность по условиям погоды на всей охраняемой территории. Для адекватной оценки характера пространственно-временного распределения метеорологических элементов с требуемой точностью необходимо увеличение числа метеостанций либо использование математических моделей в комплексе с ГИС-технологиями и соответствующими данными дистанционного зондирования (Рациональное размещение..., 1947; Онучин, Буренина, 2002; Онучин, Данилова, 2012; Данилова, Онучин, 2019; Danilova, Onuchin, 2019).

Большая часть лесов Красноярского края (76.2 % от общей площади земель лесного фонда) отнесена к зоне контроля, на которой регистрация и тушение пожаров происходит авиационными и космическими средствами. Несвоевременное тушение пожаров в этой зоне способствует их распространению на огромные площади.

В последние десятилетия наблюдается рост промышленного освоения лесов Сибири, что также является дополнительным источником огня. Особенно интенсивно идет заготовка древесины в зоне ответственности Богучанского и Пировского авиационных отделений. Так, площадь вырубок в Нижнем Приангарье, по данным Е. А. Kukavskaya и соавт. (2023), основанная на результатах дистанционного зондирования, в последнее десятилетие увеличивается ежегодно на

40–60 тыс. га. Соответственно, идет возрастание природной пожарной опасности лесов региона за счет увеличения запасов горючих материалов на вырубках и создания благоприятных условий для их высыхания и более быстрого достижения состояния пожарной зрелости.

Также возрастает не только интенсивность лесозаготовок, но и рекреационная освоенность лесов населением. На территории Богучанского и Пировского авиационных отделений плотность населения высокая (Демографический ежегодник, 2020) и относительно хорошо развита дорожная сеть (Еналеева-Бандура и др., 2022), что приводит к доступности удаленных территорий и увеличению источников огня, которые могут служить причиной лесных пожаров (Львов, Орлов, 1984; Курбатский, Цветков, 1986). Установлено, что основное число пожаров возникает у дорог, вне зависимости от удаленности от населенного пункта (табл. 4).

При высокой плотности дорог в Нижнеангарском таежном районе (Богучанское авиационное отделение) до 71.6 % всех пожаров возникают на удаленности более 20 км, а в Среднесибирском подтаежно-лесостепном районе (Пировское авиационное отделение) – на расстоянии до 10 км (табл. 4). Установлено, что основное количество пожаров возникает у дорог (до 5 км), вне зависимости от удаленности от населенного пункта.

Как было отмечено выше, на территории Подкаменно-Тунгусского и Ярцевского авиационных отделений наблюдается хорошее совпадение количества прогнозируемых по условиям погоды пожаров с фактическим их количеством. Это можно объяснить небольшим числом дней с высокой пожарной опасностью по условиям погоды, слабо развитой дорожной сетью – от 0 до 0.4 км/тыс. га, низкой плотностью населения,

**Таблица 4.** Распределение лесных пожаров по удаленности от населенного пункта, %

Показатель	Авиационное отделение					
	Ванаварское	Подкаменно-Тунгусское	Ярцевское	Богучанское	Пировское	Усинское
Удаленность от населенного пункта, км:						
до 1	0	2,2	0	1.1	11.2	0
1–5	3,5	14,8	2	6.7	64.3	22.7
5–10	2,4	14,9	8	5.7	17.8	15.9
10–20	9,3	8,5	20	14.9	4.7	27.2
более 20	84,8	59,6	70	71.6	2.0	34.2
Плотность дорог, км/тыс. га	0,0	0,1	0.4	9.7	5.8	0.5



**Таблица 5.** Показатели пожарной опасности лесов на территории авиационных отделений

Показатель	Авиационное отделение					
	Подкаменно-Тунгусское	Ванаварское	Ярцевское	Богучанское	Пировское	Усинское
Плотность населения, чел./км <sup>2</sup>	0.07	0.08	0.26	0.84	3.2	1.8
Плотность дорог, км/тыс. га	–	–	0.4	9.7	5.8	0.5
Охраняемая площадь, млн га	17.0	10.8	6.1	2.8	4.2	0.95
Частота пожаров, шт./10 <sup>5</sup> га	0.03	9.6	0.83	3.6	2.0	28
Коэффициент природной пожарной опасности	0.78	0.78	0.64	0.73	0.66	0.66
Сумма дней с III–V КПО	29	62	25	65	53	59
Коэффициент пожарной опасности населения для леса	0.01	0.03	0.04	0.2	0.4	0.6

а также отсутствием лесозаготовок в летнее время (табл. 5).

Здесь также происходит совпадение пожароопасного периода с периодом грозовой активности и основной причиной возникновения лесных пожаров являются молнии. Совпадение количества прогнозируемых по условиям погоды пожаров с фактическим их количеством наблюдается и в зоне ответственности Усинского авиационного отделения.

На охраняемой территории авиационного отделения площадью 900 тыс. га расположено две метеорологические станции, данных которых достаточно для учета погоды с требуемой точностью. Службы по борьбе с пожарами работают стабильно и учитывают меняющиеся социальные-экономические и природные условия.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разнообразие климата, растительности и индустриальное освоение лесов способствует ежегодному возникновению лесных пожаров на территории Средней Сибири. Проведенный анализ горимости лесов региона выявил рост числа лесных пожаров и их площадей в последние два десятилетия. Резкое увеличение фактической горимости лесов вызвано рядом причин, в том числе изменением климата (рост температуры, уменьшение количества осадков, увеличение грозовой активности), наличием зон контроля, недостаточно эффективной организацией охраны лесов от пожаров и, прежде всего, неточностью прогнозирования пожарной опасности по условиям погоды, не позволяющей из-за редкой сети метеорологических станций своевременно обнаруживать пожары и тушить их на малых площадях.

Одной из мер по улучшению системы прогнозирования и сокращению площадей пожаров является увеличение количества метеорологических станций и широкое использование математических моделей пространственно-временного распределения метеорологических элементов в комплексе с ГИС-технологиями и данными дистанционного зондирования. Положительного эффекта следует также ожидать от перехода на местные шкалы пожарной опасности, учитывающие лесорастительные и климатические условия лесных районов.

*Работа выполнена в рамках реализации важнейшего инновационного проекта государственного значения «Разработка системы наземного и дистанционного мониторинга пулов углерода и потоков парниковых газов на территории Российской Федерации, обеспечение создания системы учета данных о потоках климатически активных веществ и бюджета углерода в лесах и других наземных экологических системах» (рег. № 123030300031-6) и государственного задания ИЛ СО РАН КНЦ СО РАН «№ FWES-2021-0010 (Рег. НИОКТР № 121030900181-4)».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Валендик Э. Н. Борьба с крупными лесными пожарами. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 191 с.
- Вонский С. М., Жданко В. А., Корбут В. И., Семенов М. М., Тетюшева Л. В., Завгородняя Л. С. Составление и применение местных шкал пожарной опасности в лесу. Метод. указ. Л.: ЛенНИИЛХ, 1975. 60 с.
- Данилова И. В., Онучин А. А. Оценка пространственного распределения твердых атмосферных осадков в таежной зоне реки Енисей с использованием спутниковых данных // Метеорол. и гидрол. 2019. № 1. С. 103–112.

- Демографический ежегодник Красноярского края. Красноярск: Красноярскстат, 2020. 202 с.
- Еналеева-Бандура И. М., Ковалев Р. Н., Баранов А. Н., Шишоркин Н. Н. Модели и методы эколого-экономической оценки продуктивности лесных территорий с учетом уровня развития транспортной сети. Красноярск: СибГУ им. академика М. Ф. Решетнева, 2022. 160 с.
- Жданко В. А. Основы определения пожарной опасности в лесу в зависимости от погоды // Лесн. хоз-во. 1960. № 6. С. 39–44.
- Иванов В. А., Иванова Г. А. Пожары от гроз в лесах Сибири. Новосибирск: Наука, 2010. 164 с.
- Иванов В. А., Пономарев Е. И., Иванова Г. А., Мальканова А. В. Грозы и лесные пожары в современных климатических условиях Средней Сибири // Метеорол. и гидрол. 2023. № 7. С. 102–113.
- Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз). М.: Рослесхоз, 2023. [https://nffc.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml)
- Курбатский Н. П. Пожарная опасность в лесу и ее измерение по местным шкалам // Лесные пожары и борьба с ними. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 5–30.
- Курбатский Н. П., Цветков П. А. Охрана лесов от пожаров в районах интенсивного освоения (на примере КАТЭКа). Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1986. 149 с.
- Львов П. Н., Орлов А. И. Профилактика лесных пожаров. М.: Лесн. пром-сть, 1984. 116 с.
- Мелехов И. С. Природа леса и лесные пожары. Архангельск: ОГИЗ, 1947. 60 с.
- Нестеров В. Г. Горимость леса и методы ее определения. М.: Гослесбумиздат, 1949. 76 с.
- Онучин А. А., Буренина Т. А. Моделирование пространственно-временного распределения осадков // Лесные экосистемы Енисейского меридиана. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. С. 50–54.
- Онучин А. А., Данилова И. В. Орографические эффекты распределения атмосферных осадков на юге Приенисейской Сибири // Геогр. и природ. ресурсы. 2012. № 3. С. 85–92.
- Рациональное размещение сети гидрометеорологических станций // Тр. Гл. геофиз. обсерв. Вып. 4 (66). Л.: Гидрометеорол. изд-во, 1947. 113 с.
- Софронов М. А., Волокитина А. В. Пирологическое районирование в таежной зоне. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 204 с.
- Телицын Г. П. Определение пожарной опасности на лесной территории: Метод. реком. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1989. 22 с.
- Danilova I. V., Onuchin A. A. The estimation of solid precipitation distribution in the taiga zone of the Yenisei river basin using satellite data // Rus. Meteorol. Hydrol. 2019. V. 44. Iss. 1. P. 71–77 (Original Rus. text © I. V. Danilova, A. A. Onuchin, 2019, publ. in Meteorologiya i gidrologiya. 2019. N. 1. P. 103–112).
- Flannigan M. D., Wotton B. M. Lightning-ignited forest fires in northwestern Ontario // Can. J. For. Res. 1991. V. 21. N. 3. P. 277–287.
- Goldammer J. G., Price C. Potential impacts of climate change on fire regimes in the tropics based on MAGICC and a GISS GCM-derived lightning model // Climatic Change. 1998. V. 39. Iss. 2–3. P. 273–296.
- Ivanov V. A., Ponomarev E. I., Ivanova G. A., Malkanova A. V. Thunderstorms and forest fires in modern climatic conditions of Central Siberia // Rus. Meteorol. Hydrol. 2023. V. 48. Iss. 7. P. (Original Rus. text © V. A. Ivanov, E. I. Ponomarev, G. A. Ivanova, A. V. Malkanova, 2023, publ. in Meteorologiya i gidrologiya. 2023. N. 7. P. 102–113).
- Kasischke E. S., Christensen N. L., Stocks B. J. Fire, global warming, and the carbon balance of boreal forests // Ecol. Appl. 1995. V. 5. Iss. 2. P. 437–451.
- Kukavskaya E. A., Shvetsov E. G., Buryak L. V., Tretyakov P. D., Groisman P. Y. Increasing fuel loads, fire hazard, and carbon emissions from fires in Central Siberia // Fire. 2023. V. 6. Iss. 2. Article 63. 16 p.
- Statistica 10. StatSoft Russia, 2023. <http://statsoft.ru/products/new-features/STATISTICA10.php>
- Weber M. G., Flannigan M. D. Canadian boreal forest ecosystem structure and function in a changing climate: impact on fire regimes // Environ. Rev. 1997. V. 5. N. 3–4. P. 145–166.

## FOREST FIRES AND THE CAUSES OF THEIR OCCURRENCE IN CENTRAL SIBERIA

G. A. Ivanova, V. A. Ivanov, A. V. Musokhranova, A. A. Onuchin

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

---

E-mail: gaivanova@ksc.krasn.ru, ivanovv53@yandex.ru, nastya.krasn@mail.ru, onuchin@ksc.krasn.ru

On the territory of Central Siberia, hundreds of forest fires occur annually, spreading over vast areas. An analysis of the dynamics of forest fires showed that in recent decades the number of fires and the burned area have increased significantly. The average area of one fire has also increased, which indicates the insufficient effectiveness of the organization of forest fire protection. The maximum number of fires occurs in the Nizhneangarskiy taiga region, where pine forests predominate, in which cutting have been actively carried out since the middle of the last century. The largest burned area was registered in the Central Siberian plateau taiga region, where forests are inaccessible and a zone control by only remote-sensing instruments has been allocated. The largest number of fires from thunderstorms was also recorded in this forest region (93.1 %). The main number of large and catastrophic fires operated in the control zone. The meteorological factors influencing the occurrence of forest fires are analyzed and regression models of the dependence of the number of forest fires on temperature and precipitation for different forest regions are obtained. The main causes of fires are the emergence of a large number of fires sources due to the intensive economic development of forest areas and increased thunderstorm activity due to climate change. The use of a regression model of the relationship between the number of forest fires and the average air temperature and the amount of precipitation for the fire season allows to qualitatively estimate the system of protecting forests from forest fires. At the same time, in some forest regions, there is a decrease in the effectiveness of protecting forests from fires, the increase in the number of which is due to climate change.

**Keywords:** *large and catastrophic forest fires, pine stands, clear-cutting, thunderstorm activity, fire season, climate change, forest fire protection system.*

**How to cite:** *Ivanova G. A., Ivanov V. A., Musokhranova A. V., Onuchin A. A. Forest Fires and the Causes of Their Occurrence in Central Siberia // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 6–16 (in Russian with English abstract and references).*