

Федеральный исследовательский центр «Красноярский научный центр СО РАН»  
Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН

ISSN 2311-1410

# Сибирский лесной журнал

Номер 6  
Ноябрь–Декабрь 2023



Издательство СО РАН  
Новосибирск

FEDERAL RESEARCH CENTER KRASNOYARSK SCIENTIFIC CENTER  
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES, SIBERIAN BRANCH  
V. N. SUKACHEV INSTITUTE OF FOREST  
RUSSIAN ACADEMY OF SCIENCES, SIBERIAN BRANCH

**SIBERIAN JOURNAL OF FOREST SCIENCE**

Number 6 November–December 2023

Peer-reviewed Scientific Journal. Established January 2014

**Founder:** Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch

**Published bimonthly**, 6 times per year  
ISSN 2311-1410 (Print), ISSN 2312-2099 (Online)

**Editor-in-Chief**

Alexander A. Onuchin  
onuchin@ksc.krasn.ru

**Associate Editors-in-Chief**

Igor M. Danilin, Tamara S. Sedel'nikova  
danilin@ksc.krasn.ru, tss@ksc.krasn.ru

**Managing Editor**

Larisa N. Skripal'schikova  
lara@ksc.krasn.ru

**Associate Editors**

Galina F. Antonova (RF), Natalia E. Antonova (RF), Stanislav P. Arefyev (RF), Sezgin Ayan (Turkey), Vladimir F. Baginskiy (Belarus), Eugene V. Banaev (RF), Yuri N. Baranchikov (RF), Kirsten Barrett (UK), Sergei A. Bartalev (RF), Sergei M. Bebiya (Abkhazia), Alexander I. Belyaev (RF), Vera E. Benkova (RF), Kapitolina S. Bobkova (RF), Jiquan Chen (USA), Tumen N. Chimitdorzhiev (RF), Chimidnyam Dorjsuren (Mongolia), Chultem Dugarjav (Mongolia), Alexey A. Dymov (RF), Steve Eubanks (USA), Svetlana Yu. Evgrafova (RF), Sergey N. Goroshkevich (RF), Irina D. Grodnitskaya (RF), Andrei N. Gromtsev (RF), Georg Guggenberger (Germany), Alexander P. Isaev (RF), Galina A. Ivanova (RF), Vladislav N. Kalaev (RF), Olga V. Kalugina (RF), Vyacheslav I. Kharuk (RF), Alexander V. Kirdeyanov (RF), Natal'ya I. Kirichenko (RF), Alexander P. Kovalev (RF), Yuri N. Krasnoshchekov (RF), Konstantin V. Krutovsky (RF, Germany), Alexander M. Kryshen (RF), Konstantin N. Kulik (RF), Andrei N. Kupriyanov (RF), Qinglin Li (Canada), Sune Linder (Sweden), Sergei R. Loskutov (RF), Tatyana A. Moskalyuk (RF), Elena N. Muratova (RF), Sergei V. Osipov (RF), Igor N. Pavlov (RF), Heli Peltola (Finland), Viliam Pichler (Slovakia), Alexander V. Pimenov (RF), Anatoly S. Prokushkin (RF), Olga A. Shapchenkova (RF), Dmitriy G. Schepaschenko (RF, Austria), Christiane Schmuilius (Germany), Olga V. Shergina (RF), Alexander S. Shishikin (RF), Svetlana D. Shlotgauer (RF), Anatoly Z. Shvidenko (RF, Austria), Vladimir A. Sokolov (RF), Vladimir V. Soldatov (RF), Vladislav G. Soukhovolsky (RF), Ge Sun (USA), Vyacheslav V. Tarakanov (RF), Alexander N. Tashev (Bulgaria), Elena E. Timoshok (RF), Josef Urban (Czechia), Vladimir V. Usenya (Belarus), Vladimir A. Usoltsev (RF), Eugene A. Vaganov (RF), Viktor I. Voronin (RF), Chuankuan Wang (China), Adam X. Wei (Canada), Yulay A. Yanbaev (RF), Vasily T. Yarmishko (RF)

**Leading Editor**

Tatyana A. Nikitina

**Scientific Editor**

Kseniya A. Kryukova

**Technical Editor**

Tatyana R. Pantyukhina

**Scientific Editor for this Issue of the Journal**

Galina A. Ivanova

*Address for journal office:*

Russian Federation, 660036, Krasnoyarsk, Akademgorodok, 50/28  
Federal Research Center Krasnoyarsk Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
V. N. Sukachev Institute of Forest, Russian Academy of Sciences, Siberian Branch  
Editorial office for the Siberian Journal of Forest Science  
Phones: +7 (391) 249-4639; +7 (391) 290-5516; E-mail: lara@ksc.krasn.ru  
Web: sibjforsci.com; сибирскийлеснойжурнал.рф

Novosibirsk

Siberian Branch of the Russian Academy of Science

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ФЕДЕРАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР  
«КРАСНОЯРСКИЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК»  
ИНСТИТУТ ЛЕСА ИМ. В. Н. СУКАЧЕВА СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК –  
ОБОСОБЛЕННОЕ ПОДРАЗДЕЛЕНИЕ ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН)

## СИБИРСКИЙ ЛЕСНОЙ ЖУРНАЛ

№ 6 2023 Ноябрь–Декабрь

Научный журнал. Издается с января 2014 г.

**Учредитель:** Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
Федеральный исследовательский центр  
«Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

**Периодичность** – 6 номеров в год  
ISSN 2311-1410 (печатное издание), ISSN 2312-2099 (сетевое издание)

*Главный редактор*  
А. А. Онучин

### Редакционная коллегия:

Г. Ф. Антонова (РФ), Н. Е. Антонова (РФ), С. П. Арефьев (РФ), С. Аян (Турция), В. Ф. Багинский (Беларусь),  
Е. В. Банаев (РФ), Ю. Н. Баранчиков (РФ), К. Баррет (Великобритания), С. А. Бартаев (РФ), С. М. Бебия (Абхазия),  
А. И. Беляев (РФ), В. Е. Бенькова (РФ), К. С. Бобкова (РФ), Е. А. Ваганов (РФ), Ч. Ван (Китай), А. Х. Вей (Канада),  
В. И. Воронин (РФ), С. Н. Горoshkevich (РФ), И. Д. Гродницкая (РФ), А. Н. Громцев (РФ), Г. Гуггенбергер (Германия),  
И. М. Данилин (*зам. главного редактора*, РФ), Ч. Доржурэн (Монголия), Ч. Дугаржав (Монголия), А. А. Дымов (РФ),  
С. Ю. Евграфова (РФ), Г. А. Иванова (РФ), А. П. Исаев (РФ), В. Н. Калаев (РФ), О. В. Калугина (РФ), А. В. Кирдянов (РФ),  
Н. И. Кириченко (РФ), А. П. Ковалев (РФ), Ю. Н. Краснощеков (РФ), К. В. Крутовский (РФ, Германия), А. М. Крышень (РФ),  
К. А. Крюкова (*научный редактор*, РФ), К. Н. Кулик (РФ), А. Н. Куприянов (РФ), Ж. Ли (Канада), С. Линдер (Швеция),  
С. Р. Лоскутов (РФ), Т. А. Москалюк (РФ), Е. Н. Муратова (РФ), С. В. Осипов (РФ), Т. А. Никитина (*ведущий редактор*, РФ),  
И. Н. Павлов (РФ), Х. Пелтола (Финляндия), А. В. Пименов (РФ), В. Пихлер (Словакия), А. С. Прокушкин (РФ),  
Т. С. Седельникова (*зам. главного редактора*, РФ), Л. Н. Скрипальщикова (*отв. секретарь*, РФ), В. А. Соколов (РФ),  
В. В. Солдатов (РФ), Г. Сун (США), В. Г. Суховольский (РФ), В. В. Тараканов (РФ), А. Н. Ташев (Болгария),  
Е. Е. Тимошок (РФ), Й. Урбан (Чехия), В. В. Усень (Беларусь), В. А. Усольцев (РФ), В. И. Харук (РФ), Д. Чен (США),  
Т. Н. Чимитдоржиев (РФ), О. А. Шапченкова (РФ), А. З. Швиденко (РФ, Австрия), О. В. Шергина (РФ),  
А. С. Шишкин (РФ), С. Д. Шлотгауэр (РФ), К. Шмуллиус (Германия), Д. Г. Щепашенко (РФ, Австрия),  
С. Юбанкс (США), Ю. А. Янбаев (РФ), В. Т. Ярмишко (РФ)

*Научный редактор номера*  
Г. А. Иванова

*Адрес редакции:* 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28, ИЛ СО РАН  
Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
Федеральный исследовательский центр  
«Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»  
Институт леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук –  
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН)

Редакция «Сибирского лесного журнала»  
Телефоны: (391) 249-4639; (391) 290-5516  
E-mail: lara@ksc.krasn.ru  
Интернет-сайт: [сибирскийлеснойжурнал.рф](http://сибирскийлеснойжурнал.рф), [sibjforsci.com](http://sibjforsci.com)

Новосибирск  
Федеральное государственное бюджетное учреждение «Сибирское отделение Российской академии наук»

© Федеральное государственное бюджетное научное учреждение Федеральный исследовательский центр  
«Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук», 2023  
© Институт леса им. В. Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук –  
обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН (ИЛ СО РАН), 2023



### Основная тематика журнала:

лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация  
структура, динамика и функционирование лесных экосистем  
биосферные функции леса, их изменения под влиянием глобальных и региональных  
климатических процессов и антропогенных воздействий  
география, экология и типология лесов  
лесная генетика, селекция и интродукция, дендрология  
лесное ресурсоведение, ботаника, этноботаника  
лесные культуры  
физиология и биохимия лесных растений  
биотехнология, древесиноведение, химическая переработка древесины и недревесных продуктов леса  
дендрохронологические исследования  
лесная гидрология  
лесная пирология  
лесные зоокомплексы  
лесная фитоценология  
лесное почвоведение  
лесная микробиология  
лесная фитопатология и защита леса  
лесомелиорация и лесная рекультивация  
лесная политика, экономика, управление лесами, лесное законодательство  
дистанционные и геоинформационные методы в оценке биосферных функций леса

Журнал представляет собой мультидисциплинарное рецензируемое научное издание, освещающее широкий спектр вопросов лесоведения, лесоводства, лесоустройства, лесной таксации, генетики и селекции, лесной экологии и экономики – наук о сложнейших закономерностях структуры, формирования и развития лесных экосистем и использования лесных ресурсов человеком.

«Сибирский лесной журнал. Siberian Journal of Forest Science» (ISSN 2311-1410 (печатное издание), ISSN 2312-2099 (сетевое издание)) публикуется Федеральным государственным бюджетным учреждением «Сибирское отделение Российской академии наук» на русском и английском языках.

«Сибирский лесной журнал» включен в российскую систему научного цитирования eLibrary.ru (РИНЦ), международные реферативные базы данных: Ulrichweb: Global Serials Directory, Directory of Open Access Journals (DOAJ), AGRIS, CABI Forest Science Database, Перечень периодических научных изданий ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ (категория K1), готовится к включению в международные реферативные базы данных научной периодики и цитирования: Springer, Scopus, Web of Science. Полнотекстовые статьи размещаются на сайте журнала в сети: сибирскийлеснойжурнал.рф, sibjforsci.com.

«Сибирский лесной журнал» предполагает следующие разделы: «Обзорные статьи», «Исследовательские статьи», «Краткие сообщения», «Рецензии», «Хроника», «Международное сотрудничество». В нем освещаются самые разные вопросы, касающиеся проблем биологического разнообразия лесов на всех уровнях его организации (генетическом, видовом, экосистемном). Публикуются статьи по антропогенной и техногенной трансформации лесных экосистем. Журнал не ограничивается лесными проблемами Сибири, принимает и публикует материалы из различных регионов мира, представляющие общенаучный интерес.

Подготовлено к печати Федеральным государственным бюджетным учреждением  
«Сибирское отделение Российской академии наук»

Ведущий редактор Т. А. Никитина

Научный редактор К. А. Крюкова

Дизайн обложки С. Р. Лоскутов

Техническое редактирование и верстка Т. Р. Пантюхина

---

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор). Свидетельство о регистрации средства массовой информации:

Периодическое печатное издание, журнал – ПИ № ФС 77-68699 от 09 февраля 2017 г.

Сетевое издание – ЭЛ № ФС 77-70737 от 15 августа 2017 г.

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение

Федеральный исследовательский центр

«Красноярский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук»

---

Сдано в набор 4.12.2023. Выход в свет 29.12.2023. Бумага типографская. Формат 60 × 84 1/8

Усл. печ. л. 18.8. Уч.-изд. л. 17.0. Тираж 100 экз. Заказ № 313. Цена свободная.

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Сибирское отделение Российской академии наук»  
630090, г. Новосибирск, просп. Академика Лаврентьева, 17

Отпечатано в Федеральном государственном бюджетном учреждении «Сибирское отделение Российской академии наук»  
630090, г. Новосибирск, Морской просп., 2

Тел.: 8 (383) 330-8466; электронная почта: e.lyannaya@sb-ras.ru; <http://www.sibran.ru>

УДК 630\*43

## ПРЕДИСЛОВИЕ НАУЧНОГО РЕДАКТОРА НОМЕРА

**Г. А. Иванова**

*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

*Поступила в редакцию 01.09.2023 г.*

Представлен краткий обзор содержания статей тематического номера «Сибирского лесного журнала» № 6 2023 г., посвященного лесопирологическим исследованиям.

**Ключевые слова:** *Сибирский лесной журнал, 2023, № 6, лесопирологические исследования, краткий редакторский обзор содержания тематического номера.*

DOI: 10.15372/SJFS20230601

В связи с изменением климата и появлением вследствие хозяйственного освоения лесных территорий дополнительных источников огня ежегодно на территории Российской Федерации увеличивается число лесных пожаров и, соответственно, эффективность современной охраны лесов становится недостаточной. В связи с этим актуальны исследования по проблеме природы лесных пожаров и поиску путей совершенствования охраны лесов от пожаров и минимизации ущерба от них.

«Сибирский лесной журнал» постоянно публикует статьи по лесопожарной тематике. Данный номер журнала тематический, исследовательские и обзорные статьи посвящены проблеме лесных пожаров, их последствиям и борьбе с ними.

Во вступительной статье (авторы Г. А. Иванова, В. А. Иванов, А. В. Мусохранова, А. А. Онучин) представлен анализ лесных пожаров и причин их возникновения на территории лесных районов Средней Сибири. При этом рассмотрено воздействие природных и антропогенных факторов на возникновение лесных пожаров. Авторами установлено, что в последние десятилетия регистрируется значительный рост количества лесных пожаров и их площадей. Также увеличилась средняя площадь одного пожара, что свидетельствует о недостаточной эффективности организации охраны лесов. В связи с этим,

проанализированы метеофакторы, влияющие на возникновение лесных пожаров на примере отдельных лесных районов, и получены регрессионные модели зависимости числа пожаров от температуры и осадков в современных условиях, позволившие оценить систему охраны лесов от пожаров по лесным районам Красноярского края.

В статье П. Д. Третьякова и Е. И. Пономарева рассматривается динамика количества пожаров растительности на территории арктической зоны Сибири за последние два десятилетия в условиях климатических изменений. Установлено, что при общем росте грозовой активности в районе исследований, число дней с грозовыми разрядами на градиенте долготы с запада на восток значительно возросло в последнее десятилетие, а это – дополнительные источники огня. В течение четырех сезонов (2018–2021 гг.) был превышен средний многолетний уровень горимости, что является качественно новой особенностью пожарных режимов Севера Сибири.

Проблема прогнозирования возникновения лесных пожаров по условиям погоды с целью улучшения охраны лесов рассмотрена в статьях Р. В. Котельникова и А. Н. Чугаева, В. А. Иванова с соавт. и А. В. Волокитиной.

Р. В. Котельниковым и А. Н. Чугаевым представлен новый подход к сравнительному анализу основных методик оценки и прогнозирования

пожарной опасности по условиям погоды, используемых в России. Подготовленная авторами интерактивная карта в сочетании с динамическим графиком позволяет визуализировать результаты сравнения пригодности использования этих методик. Для большей части территории лучшие результаты показали методика оценки пожарной опасности по условиям погоды (ПВГ), разработанная в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН и методика показателя влажности 2 (ПВ-2). Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования при выборе методики для построения и совершенствования шкал пожарной опасности по условиям погоды в лесах различных регионов.

В. А. Ивановым с соавт. рассмотрены вопросы актуализации региональных шкал пожарной опасности в лесах Красноярского края. Ввиду сложности рельефа, разнообразия климатических и лесорастительных условий для каждого лесного района были составлены региональные шкалы пожарной опасности по условиям погоды и приведено их сравнение с единой федеральной шкалой. Использование региональных шкал пожарной опасности для лесных районов позволяет своевременно обнаружить и тушить лесные пожары и, соответственно, снизить ущерб от них.

А. В. Волокитиной рассмотрены методические вопросы разработки определителя типов основных проводников горения на примере Красноярского Приангарья. Результатом работы предполагается создание на ГИС-основе информационных баз данных для оперативного составления крупномасштабных карт растительных горючих материалов, которые могут использоваться для оценки текущей природной пожарной опасности в зависимости от погодных условий и для прогноза поведения возникших лесных пожаров.

В последние годы наблюдается рост пожаров на нарушенных лесных территориях. Ю. В. Салцевич с соавт. описано состояние нарушенных лесных земель в предгорьях Восточного Саяна. Вследствие воздействия негативных факторов (пожаров, насекомых, рубок и ветровалов) ухудшается санитарное состояние насаждений всех лесных формаций и увеличивается природная пожарная опасность этих территорий. Авторами выявлены закономерности естественного лесовосстановления на нарушенных участках лесных земель, которое на большей части этих территорий неудовлетворительное или происходит со сменой пород.

В статье С. В. Жилы с соавт. дана оценка изменения пожароопасности пихтовых насаждений после повреждения их уссурийским полиграфом (*Polygraphus proximus* Blandford). Отмечено, что в результате усыхания деревьев происходит накопление напочвенных горючих материалов и быстрое их высыхание из-за разреженности полога древостоя, что способствует возникновению лесных пожаров и повышению природной пожароопасности насаждений.

Статья А. Г. Матвеевой с соавт. открывает серию работ по исследованию воздействия пожаров на компоненты лесных биогеоценозов. Авторы исследовали послепожарные сукцессии в хвойно-широколиственных лесах национального парка «Ануйский» Хабаровского края, пройденных лесными пожарами в разные годы. Выявлено, что на всей обследованной территории в горной части бассейна среднего и верхнего течения р. Ануй после пожаров сформировались молодняки из березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukaczew) с единичным участием широколиственных пород и с подростом с преобладанием коренных хвойных пород. С продвижением на восток и с увеличением высоты над уровнем моря после пожаров видовое разнообразие в составе ярусов значительно снижается.

В статье Н. М. Ковалевой с соавт. рассмотрены закономерности восстановления живого напочвенного покрова после экспериментальных лесных пожаров разной интенсивности в сосновых насаждениях Нижнего Приангарья. Установлено, что лесные пожары, в зависимости от их интенсивности, приводят к гибели мохово-лишайникового покрова и снижению видового разнообразия, проективного покрытия и надземной фитомассы травяно-кустарничкового яруса. Через 12 лет после пожара видовое богатство травяно-кустарничкового яруса на 60–75 % представлено видами допозарного сообщества. После высокоинтенсивного пожара наблюдается увеличение числа растительных микрогруппировок.

Г. Ф. Антонова с соавт. представили результаты исследований воздействия лесного пожара на ростовые процессы в стволах деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в лесостепном сосняке разнотравно-зеленомошном. Выявлено, что первичной реакцией на пирогенное воздействие является уменьшение числа клеток в зонах, отвечающих за формирование и развитие клеток флоэмы и ксилемы, рост растяжением, и с увеличением степени пирогенного поражения ствола наблюдается утолщение стенок. Также

изменяется структура транспортных путей (ширина лучей) и содержание крахмала.

Проблеме тушения лесных пожаров посвящена публикация И. М. Секерина с соавт., в которой обобщен опыт ликвидации торфяных пожаров в пожароопасный период на территории Свердловской области. Установлено, что большинство торфяных пожаров развивается из беглых низовых в мае, и чаще всего на заброшенных осушенных торфяниках. Наиболее эффективным способом ликвидации торфяных пожаров является подтопление, при котором создаются специальные плотины, препятствующие сбросу воды по элементам рельефа, ручьям и канавам. Статья имеет выраженную практическую направленность.

Обзорная статья А. В. Брюханова и Р. В. Котельникова также посвящена совершенствованию борьбы с лесными пожарами. Представлена и обобщена информация о навигационном оборудовании и сопутствующих системах связи, применяемых для борьбы с огнём в природной среде, и рассмотрены современные системы навигации, с точки зрения как пользовательских устройств, так и глобальной организации спутниковых систем.

Содержательная и интересная обзорная статья академика Национальной академии наук Беларуси В. В. Усени посвящена вопросам охраны лесов от пожаров в Республике Беларусь. Автором приведен подробный обзор анализ го-

римости лесов республики за 60-летний период и действующей системы охраны лесов от пожаров и ее структуры. В отличие от роста числа пожаров и их площадей в последние десятилетия в лесах Сибири в Республике Беларусь наблюдается его снижение. Это связано с высокой эффективностью системы охраны лесов от пожаров и ее стабильностью.

В рубрике «Международное сотрудничество» представлена статья Г. А. Ивановой и Е. К. Кисляхова о международном сотрудничестве по проблеме лесных пожаров к 30-летию Борского эксперимента (1993–2023 гг.). В ней рассмотрены совместные экспериментальные исследования ученых-пирологов Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН с учеными из США, Канады и европейских стран. По уровню комплексных исследований и глубине их проработки эти эксперименты уникальны и проведены впервые для бореальных лесов России. В результате моделирования получены экспериментальные данные по воздействию лесных пожаров разной интенсивности на структуру и биомассу светлохвойных насаждений, на прямые пожарные эмиссии и послепожарные биогенные эмиссии. Научное сотрудничество и обмен опытом с коллегами из других стран обогатили отечественную лесную пирологию зарубежным опытом и знаниями, а также сделали результаты российских ученых доступными международной научной общественности.

## FOREWORD FROM THE SCIENTIFIC EDITOR FOR THEMATIC ISSUE OF THE SIBERIAN JOURNAL OF FOREST SCIENCE

**G. A. Ivanova**

*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](mailto:gaivanova@ksc.krasn.ru)

The capsule review of the scientific editor for the thematic issue of the Siberian Journal of Forest Science, 2023, number 6 is presented, dedicated to the studies in forest pyrology.

**Keywords:** *Siberian Journal of Forest Science, 2023, N. 6, forest pyrological studies, brief editorial review of the thematic issue contents.*

**How to cite:** *Ivanova G. A. Foreword from the scientific editor for thematic issue of the Siberian Journal of Forest Science // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 3–5 (in Russian with English abstract and references).*

## 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.

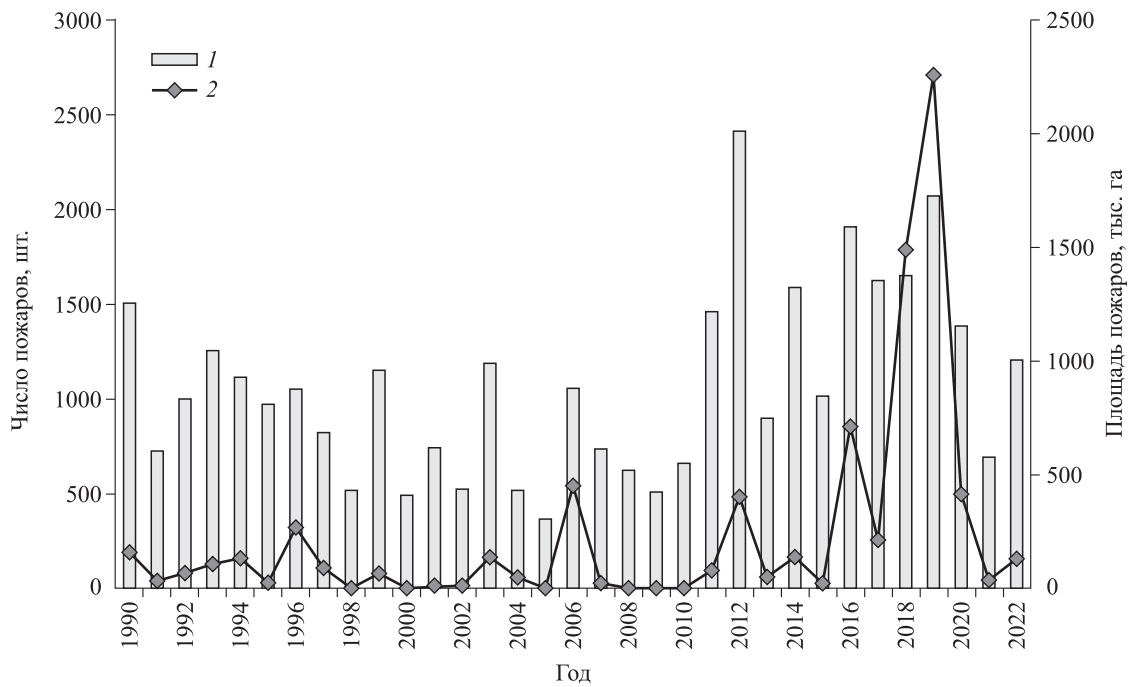


Рис. 1. Число (1) и площадь (2) лесных пожаров за 1990–2022 гг.

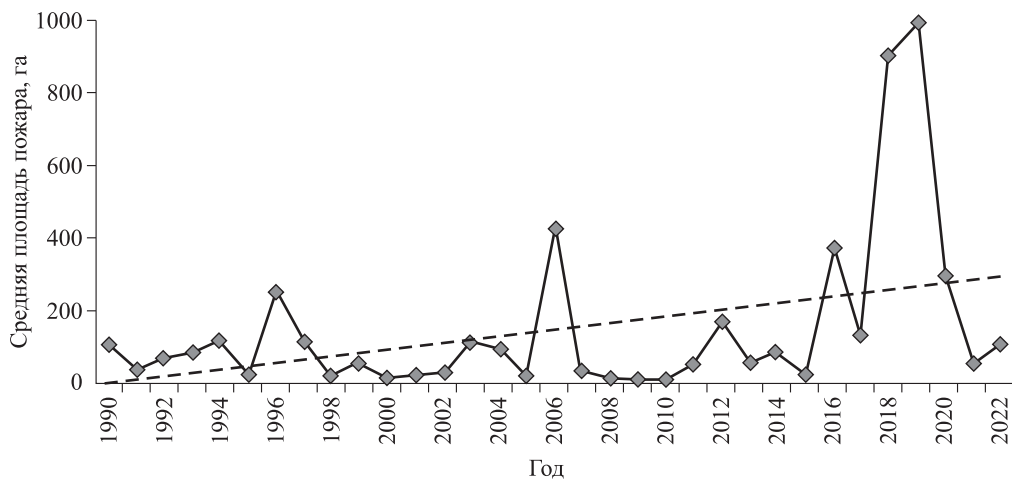


Рис. 2. Средняя площадь пожара за пожароопасный сезон.

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-

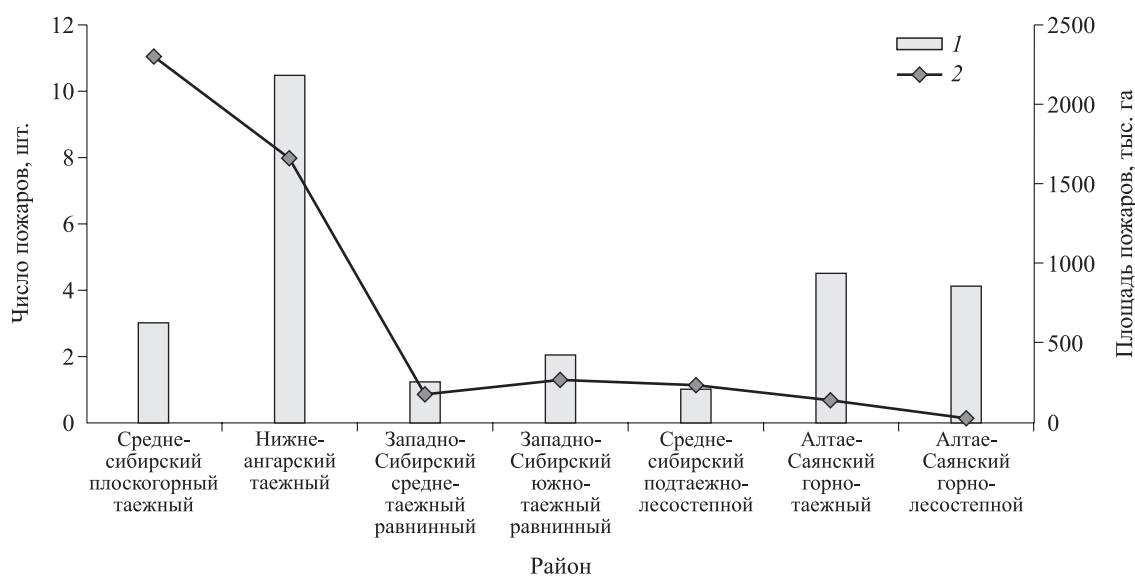


Рис. 3. Число (1) и площадь (2) пожаров в лесных районах Красноярского края (2000–2022 гг.).

**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

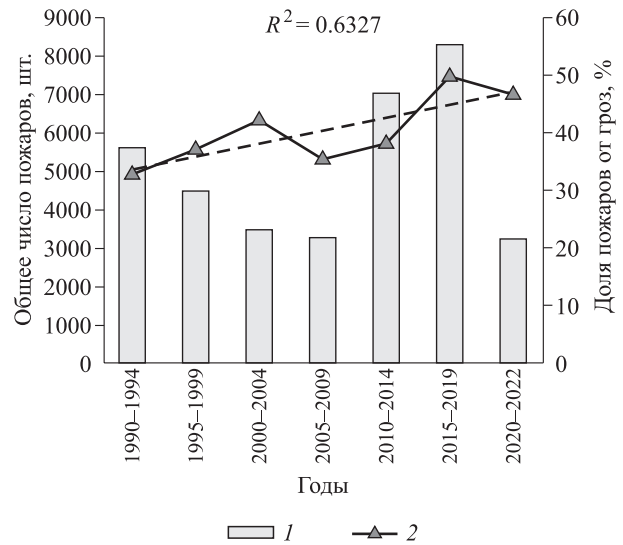


Рис. 4. Число пожаров (1) и доля пожаров от гроз (2) в лесах Красноярского края за 1990–2022 гг.

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).*

УДК 630.181

## ГОРИМОСТЬ АРКТИЧЕСКОЙ ЗОНЫ СИБИРИ В УСЛОВИЯХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ИЗМЕНЕНИЙ XX – НАЧАЛА XXI вв.

П. Д. Третьяков<sup>1,2</sup>, Е. И. Пономарёв<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

<sup>2</sup> Сибирский федеральный университет 660041, Красноярск, пр. Свободный, 79

E-mail: ptretyakov99@mail.ru, evg@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 08.06.2023 г.

Пожары растительности на территории арктической зоны Сибири (64–74° с. ш., 60–150° в. д.) изучались в условиях наблюдаемых климатических изменений на рубеже XX – начала XXI вв. На территории исследования на градиенте долготы рассматривались четыре сектора с интервалом 20°, таким образом, что границы по долготе для каждого сектора совпадали с границами бассейнов крупных рек – Оби, Енисея (с Хатангой), Лены, Яны, Индигирки, Колымы. В качестве исходных данных использованы банк пожаров Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, собранный по материалам спутникового мониторинга в 1996–2022 гг., а также результаты анализа метеорологической информации на территорию Сибири из открытых каталогов за более чем 100-летний интервал наблюдений (1900–2022 гг.). В работе проанализирована пространственно-временная вариация основных метеорологических характеристик, включая температуру воздуха, количество осадков, грозовую активность с детализацией на градиенте долготы. Дополнительно восстановлены тренды тепло- и влагообеспеченности и длительности пожароопасного периода. Выявлены относительные аномалии основных метеорологических факторов на временном интервале 2000–2022 гг. в сравнении со среднестатистическими нормами 100-летнего периода и относительная скорость их изменения в современном климате. Для рассмотренных показателей выполнена геопространственная интерполяция средствами геоинформационных систем. На основе корреляционного анализа зафиксирована степень связи между рассматриваемыми факторами и показателями горимости в арктической зоне Сибири в 2002–2022 гг.

**Ключевые слова:** пожары растительности, спутниковые данные, метеорологическая информация, пространственная интерполяция, гидротермический коэффициент, тренды.

DOI: 10.15372/SJFS20230603

### ВВЕДЕНИЕ

Тема горимости лесов и значимости послепожарных эффектов в Сибири не теряет актуальности на фоне прогнозируемых изменений климата. Практика последних лет показывает, что периодические повторения экстремальных пожарных сезонов и массовых лесных пожаров в Сибири вызывают широкий интерес не только в научном плане или в области практических решений, но и приобретает общественный резонанс. Одна из активно обсуждаемых в последние годы тем – смещение пожаров в северные широты, горимость северной части бо-

реальных лесов и тундры Сибири, что особенно ярко проявилось в пожароопасный сезон 2020 г. (Conard, Ponomarev, 2020; Witze, 2020; Descals et al., 2022; Kharuk et al., 2022). И хотя повторяемость экстремальных событий в зоне Арктики укладывается в общую цикличность пожарных сезонов Сибири (Conard, Ponomarev, 2020), вероятно, спорадические экстремумы горимости северных территорий будут иметь все большие масштабы в перспективе.

При всем разнообразии лесорастительных условий пожарные режимы отдельных территорий Сибири (Ivanova, 1998; Валендик, Иванова, 2001) определяются климатом и особенностями

распределения основных метеорологических характеристик в течение пожароопасного периода. В частности, как следует из многолетних наблюдений, наиболее экстремальные пожарные события в Сибири развиваются в условиях устойчивых антициклонов и дефицита осадков (Ivanova, 1998; Flannigan et al., 2009; Валендик и др., 2014; Пономарев и др., 2018; Ponomarev et al., 2018; Hayasaka, 2021). Констатируемые многолетние вариации пожаров и пожарного воздействия на леса Сибири (Пономарев и др., 2018; Ponomarev et al., 2018; Hayasaka, 2021; Барталев, Стыщенко, 2021) также в целом согласуются с описанными статистически достоверными режимами короткопериодной изменчивости климатической системы, которые имеют две высокочастотных составляющих с периодами 2–8 и 20–60 лет (Бышев и др., 2014; Byshev et al., 2014).

Потенциальные изменения климата, в частности рост температуры летнего периода, дефицит или перераспределение осадков (как в пространственном плане, так и во времени в течение сезона) способны существенно влиять на частоту возникновения пожаров растительности в Сибири и на арктической части ее территории. При этом для Арктики Сибири, относимой к зоне исключительно спутникового мониторинга пожаров, будет возрастать риск увеличения площадей пожаров при условии отсутствия системы контроля, предупреждения и тушения пожаров.

Современная оценка воздействий изменения климата (Arctic..., 2005) показывает тенденцию роста годовой температуры в Арктике, достигающую в отдельных районах Аляски, Северной Канады и Сибири  $\sim 3$  °C за 30-летний период (1971–2000 гг.) (Ciavarella et al., 2021). Хотя скорость изменения температуры для разных субрегионов различна, а для некоторых территорий фиксируется понижение температуры воздуха, общий тренд для Арктики за последние несколько десятилетий демонстрирует потепление (Field et al., 2014), почти в 2 раза превышающее средние темпы роста температуры на планете (Цатуров, 2012). Глобальные климатические изменения, представленные в сценариях IPCC (The Intergovernmental Panel on Climate Change) (Field et al., 2014), могут провоцировать повышение вероятности возникновения пожаров и их частоты, а кроме того – и интенсивности пожаров, что может значительно усилить общее негативное воздействие на экосистемы лесов и притундровых регионов Сибири (Барталев, Стыщенко, 2021; Hayasaka, 2021). Последствия и эффекты от вероятного и уже наблюдаемого

смещения пожаров в зону Арктики (Descals et al., 2022; Xu et al., 2022) следует анализировать с точки зрения долговременных проявлений пожарного воздействия, отмеченных для различных компонентов экосистем криолитозоны – растительных покровов и почвы (Knorre et al., 2019; Ponomarev et al., 2020; Kirilyanov et al., 2020; Пономарева и др., 2022; Dymov et al., 2023).

Можно предполагать, что изменения локального и глобального климата будут все в большей степени провоцировать увеличение длительности вегетационного и пожароопасного периодов, смещение временной границы схода снега весной, повышение средних температур летнего периода, изменение циркуляции атмосферы с локальным перераспределением осадков и грозовой активности (Flannigan et al., 2009; Школьник и др., 2012; Shkol'nik et al., 2012; Валендик и др., 2014; Бышев и др., 2014; Byshev et al., 2014; Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б., 2014; Sherstyukov B. G., Sherstyukov A. B., 2014; Иванов и др., 2023; Ivanov et al., 2023), определяя и рост интенсивности пожаров (Ponomarev et al., 2023), и в целом ужесточение пожарных режимов Сибири (Швиденко, Щепашенко, 2013; Shvidenko, Shchepaschenko, 2013; Пономарев и др., 2018; Ponomarev et al., 2018; Барталев, Стыщенко, 2021).

В то же время количественные результаты связи межсезонных вариаций климата и изменений пожарных режимов современности на уровне отдельных субрегионов Сибири и Арктики обсуждаются в единичных публикациях (Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б., 2014; Sherstyukov B. G., Sherstyukov A. B., 2014; Вахнина, Носкова, 2021; Hayasaka, 2021; Kharuk et al., 2022). В этой связи актуальны исследования, выявляющие закономерности локальных климатических изменений, что необходимо для понимания и прогнозирования сценариев изменения активности пожаров в зоне Арктики для минимизации вероятных негативных последствий.

Цель данной работы – провести многофакторный анализ изменения метеорологических параметров и установить их связь с горимостью арктической зоны Сибири. Были рассмотрены следующие аспекты проблемы: 1) долговременные тренды температуры воздуха вегетационного периода и осадков в отдельных субрегионах арктической зоны, 2) относительные аномалии основных метеорологических факторов на временном интервале 2000–2022 г. в сравнении со среднестатистическими нормами 100-летнего периода и относительная скорость их измене-

ния в современном климате, 3) долговременные тренды уровня тепло- и влагообеспеченности на градиенте долготы арктической зоны (60–150° в. д.).

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

**Район исследований.** В работе выполнен геопространственный анализ метеорологических характеристик и горимости для арктической зоны Сибири (64–74° с. ш. 60–150° в. д.). На территории исследования на градиенте долготы (60–150° в. д.) с интервалом 20–30° были рассмотрены четыре сектора. Границы по долготе для каждого сектора фактически совпадают с границами бассейнов крупных рек Сибири – Оби (сектор I), Енисея (с Хатангой) (сектор II), Лены (сектор III), Яны/Индикирки/Колымы (сектор IV) (рис. 1).

**Сектор I** (64–70° с. ш., 60–80° в. д.) имеет площадь ~507 тыс. км<sup>2</sup>, расположен на севере Западной Сибири. В данном субрегионе климат формируется под влиянием циклонической деятельности в течение всего года. Зима относительно теплая, температуры января варьируют с запада на восток от –6 до –28 °С. Летом возможен заток арктических воздушных масс, которые задерживают сход снега весной и, соответственно, лимитируют длительность пожароопасного сезона. Температура воздуха в июле может варьировать с севера на юг от 4 до 13 °С. Годовое количество осадков составляет 500–600 мм (Национальный атлас..., 2021a). На торфяных и оглеенных тундровых почвах пре-

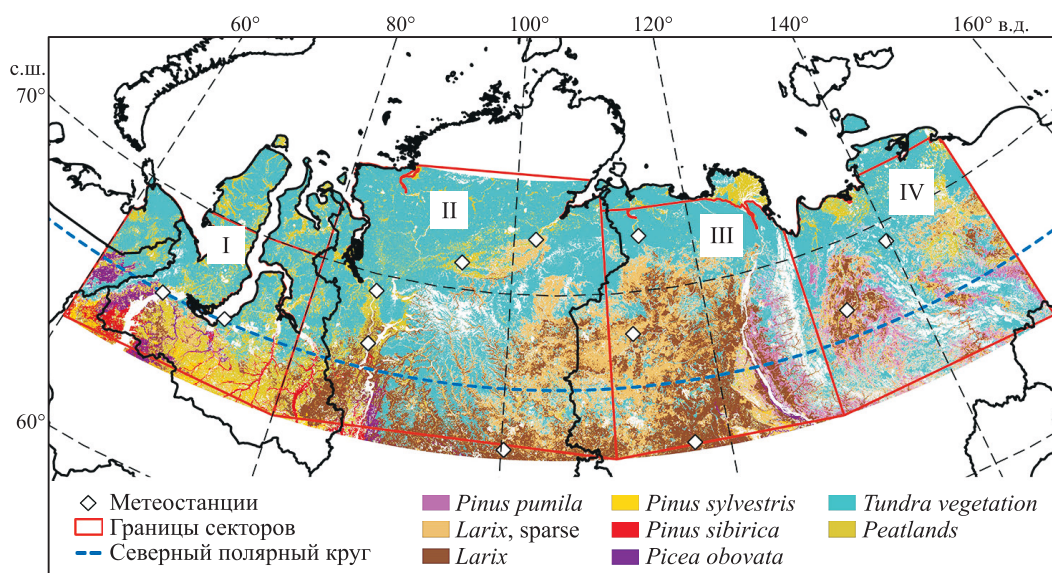
обладает в основном тундровая растительность (кустарничково-моховые северные и ерниковые мохово-лишайниковые южные тундры), встречаются сосновые из сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и лиственничные из лиственницы сибирской (*Larix sibirica* Ledeb.) редколесья. Средняя лесистость – от 5 до 20 % (Национальный атлас..., 2021б).

**В секторе II** (64–74° с. ш., 80–110° в. д.) площадью ~1257 тыс. км<sup>2</sup> климат субарктический, характеризуется большой континентальностью. Средняя температура января достигает –45 °С, высота снежного покрова – от 40 до 80 см. Средняя температура июля варьирует от 10 до 14 °С. Годовое количество осадков – от 400 до 1000 мм на наветренных склонах возвышенностей (Национальный атлас..., 2021a).

Лесистость в среднем – 30 %, преобладают лиственничные с лиственницей Гмелина (*Larix gmelinii* (Rupr.) Kuzen.), и лиственницей сибирской, с елью сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) редколесья на криоземах, подбурях и глееземах (Национальный атлас..., 2011).

**Сектор III** (64–74° с. ш., 110–130° в. д.) площадью 780 тыс. км<sup>2</sup> имеет субарктический климат. Растительность преимущественно относится к лиственничным северотаежным лесам и редколесьям с примесью ели сибирской, лесистость 20–60 %. Почвы региона – карболитоземы перегнойные, глеезёмы (Национальный атлас..., 2011; Национальный атлас..., 2021 а, б).

**В секторе IV** (64–74° с. ш., 130–150° в. д.) также субарктический климат. На площади 703 тыс. км<sup>2</sup> Верхоянского хребта произрастают тундровые редколесья с лиственницей Каяндера (*Larix*



**Рис. 1.** Район исследований и карта растительности на территорию арктической Сибири (по данным сервиса Vega-Pro, ИКИ РАН 2017, <http://pro-vega.ru/>).

*cajanderi* Mayr), лесистость – 20–40 %. Почвы па-левые, глееземы, подбуры (Национальный атлас почв..., 2011; Национальный атлас..., 2021 а, б).

**Материалы исследований.** Многолетние ряды метеорологических показателей были обобщены по данным открытого каталога «Специализированные массивы для климатических исследований» Всероссийского научно-исследовательского института гидрометеорологической информации (2023). Всего обработаны материалы по 12 метеостанциям, включая 2 метеостанции в секторе I, 5 в секторе II, 3 в секторе III и 2 в секторе IV. Дополнительно оперировали интерполированными растровыми слоями реанализа данных о температуре воздуха и об осадках с 1901 г. из каталога Global Climate Monitor (2023) с пространственным разрешением  $0.5 \times 0.5^\circ$ . Для выполнения экстраполяции и корреляционного анализа данные реанализа предпочтительны (Головинов, 2022), так как сеть метеостанций в районе исследований достаточно редка.

Сведения о пожарах получены из архива Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН (ИЛ СО РАН) спутникового мониторинга за период 1996–2022 гг. Исходная информация для расчета и анализа горимости территории была получена со спутников серии Terra и Aqua, с использованием многоспектральных данных радиометра MODIS. Использованный режим обработки аналогичен процедурам, реализованных в стандартных каталогах данных NASA (MCD64A1). Важнейшее отличие каталога данных ИЛ СО РАН – это процедура агрегации данных отдельных «пожарных» пикселей в полигоны пожаров на основе порогового пространственно-временного анализа (Пономарёв, Швецов, 2015).

**Методы исследования.** Используя многолетние ряды данных, мы анализировали вариации гидротермического коэффициента Селянинова (ГТК), в сравнении с оптимальным уровнем тепло- и влагообеспеченности территорий (Пономарев и др., 2018; Ponomarev et al., 2018). Обработывались данные для летнего периода (июнь–август), когда в районе исследований наиболее вероятны пожары растительности, на основе соотношения

$$\text{ГТК} = \left( \frac{\sum_i r_i}{\sum_i t_i} \right) \times 0.1,$$

где  $\sum_i r_i$  – сумма осадков (мм) за каждый  $i$ -й день с температурами выше  $10^\circ\text{C}$ ,  $\sum_i t_i$  – сумма температур воздуха ( $^\circ\text{C}$ ) за тот же период, 0.1 – эмпирический нормировочный коэффициент.

Для каждого из рассмотренных показателей выполнялось усреднение по десятилетиям, что

позволило сгладить высокочастотную составляющую вариации рассматриваемых характеристик. Для всех рядов данных были построены линейные регрессии, в первом приближении отражающие тренды изменения в течение рассмотренного временного периода. Коэффициенты наклона (Slope) трендов далее интерпретировались как скорость изменения параметра за 10 лет. Обработка данных, составление таблиц и графиков проводились в программе MS Excel с использованием стандартных методов статистической обработки и построения прогностических трендов.

Процедура геопространственной интерполяции выполнялась с использованием метода обратных взвешенных расстояний (Inverse Distance Weighting, IDW) реализованной в базовом комплекте ГИС с открытым исходным кодом Quantum GIS (2023).

Для каждого сектора на временном интервале 1996–2022 гг. анализировали фактическую горимость по шкале Г. А. Мокеева (1965), как

$$\gamma = \left( \frac{S_{\text{лп}}}{S_{\text{лес}}} \right) \times 100 \%,$$

где  $\gamma$  – относительная горимость, %,  $S_{\text{лп}}$  – суммарная за каждый сезон площадь лесных пожаров,  $S_{\text{лес}}$  – площадь, покрытая растительностью, включая тундры для каждого сектора.

На заключительном этапе проведен корреляционный анализ совокупности метеопараметров, влияющих на возникновение пожаров и на характеристики горимости в регионе. Предварительно проверялось выполнение условий, определяющих достоверность корреляционных связей, а именно нормальность распределения каждого параметра, линейность и независимость переменных (Hawkins, 2014). Анализ позволил характеризовать уровень связей и определить значимость метеорологических факторов, влияющих на фактический уровень горимости арктической зоны Сибири. Дополнительно выполнены пространственно-временные экстраполяции основных параметров стандартными средствами ГИС.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Пожары арктической зоны Сибири.** Анализ многолетних материалов инструментальной регистрации пожаров на территории  $> 64^\circ$  с. ш. позволяет констатировать, что в 1996–2022 гг. их среднемноголетнее количество составля-

ло  $\sim 4.56 \pm 1.15$  % общей статистики Сибири, а ежегодные площади варьировали на уровне  $\sim 11.16 \pm 4.56$  % пройденной пожарами за сезон (рис. 2). Экстремальные пожарные события северных территорий повторяются с периодом  $T = 5 \pm 2$  лет, для таких сезонов характерен значительный (в 2–4 раза) рост площадей пожаров относительно среднемноголетних норм. В хронологическом порядке к таким сезонам можно отнести 2001, 2005, 2013, 2018–2020 гг. В пожароопасные сезоны этих лет площадь пожаров на территории  $> 64^\circ$  с. ш. превышала пороговое значение среднемноголетнего показателя на одно и более стандартных отклонений ( $S > S_{cp} + SD$ ). Следует обратить внимание на то, что в течение нескольких последних лет (2018–2021 гг.) среднемноголетний уровень горимости был превышен в течение нескольких сезонов подряд, что является качественно новой особенностью пожарных режимов Севера Сибири (рис. 2).

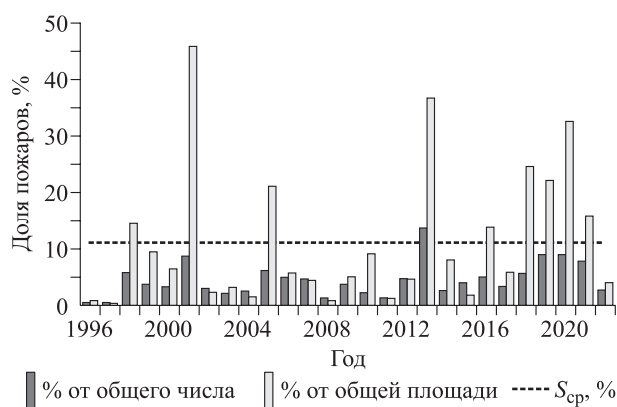


Рис. 2. Доля пожаров в зоне Арктики ( $> 64^\circ$  с. ш.) от общей статистики для Сибири в 1996–2022 гг.

**Метеорологические условия.** С начала XXI в. в арктической зоне Сибири фиксируется положительный тренд для данных о температуре воздуха (ТВ), продолжительности вегетационного периода (ВП) и числа дней с грозовой активностью (рис. 3).

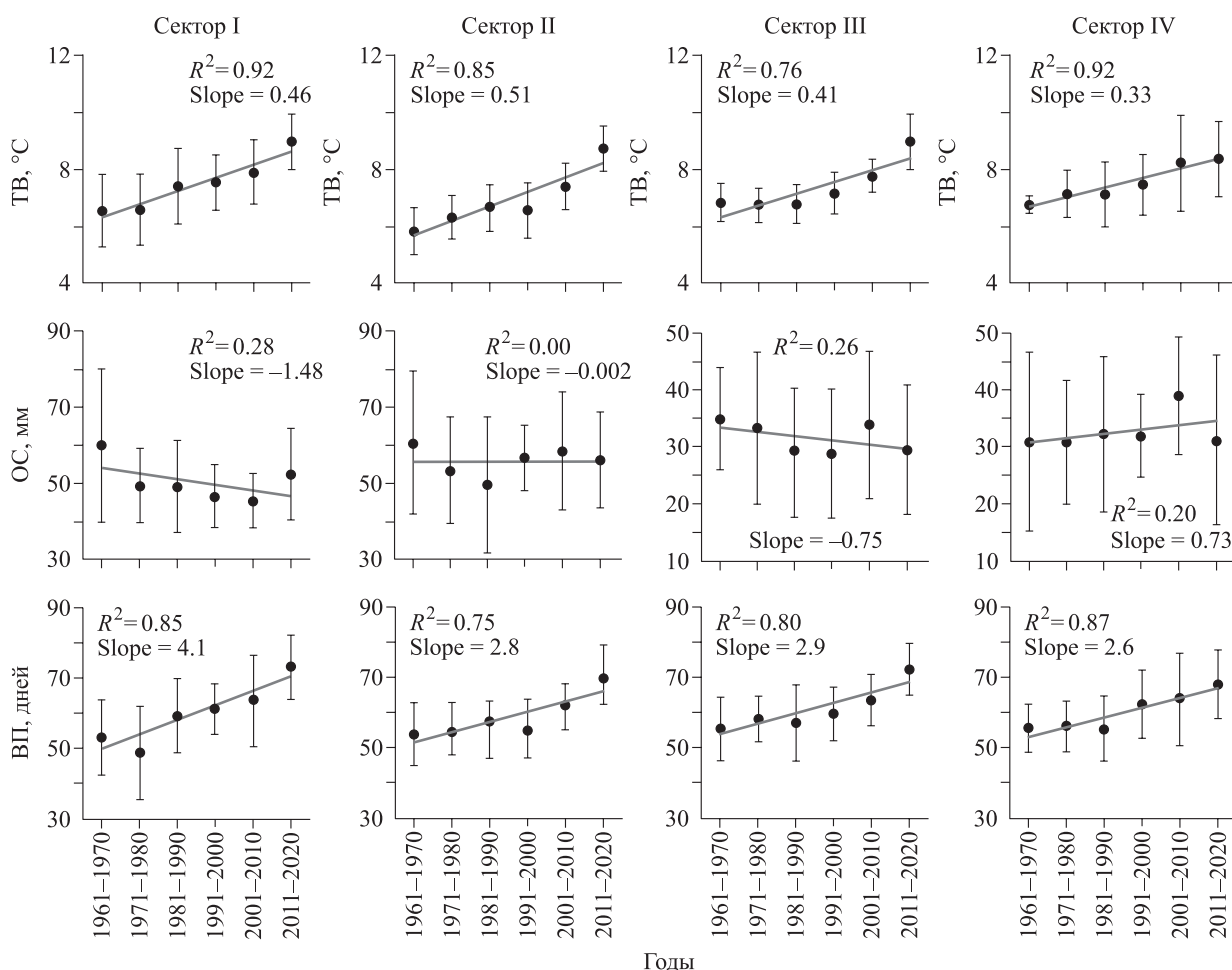


Рис. 3. Тренды климатических факторов в арктической зоне на основе рядов, усредненных по 10-летним периодам.

ТВ – средняя температура воздуха за май–сентябрь; ОС – среднеемесячное количество осадков в период май–сентябрь; ВП – продолжительность вегетационного периода.

**Таблица 1.** Число дней с грозами на градиенте долготы (по секторам) в сравнении за 1966–1980 и 2011–2020 гг. и уровень корреляции ( $r$ ) с температурой воздуха летнего периода

Сектор	Среднегодовое число дней с грозой за годы		Относительный прирост, %	Скорость прироста, дней/10 лет	$r$
	1966–1980	2011–2020			
I	2.2 ± 1.8	7.7 ± 3.7	255.8 ± 62.6	2.01	0.54
II	2.3 ± 1.8	5.2 ± 3.0	123.9 ± 40.2	2.7	0.57
III	2.2 ± 1.8	3.8 ± 2.6	92.1 ± 36.5	1.27	0.53
IV	2.1 ± 1.8	2.9 ± 1.7	31.6 ± 44.7	0.59	0.31

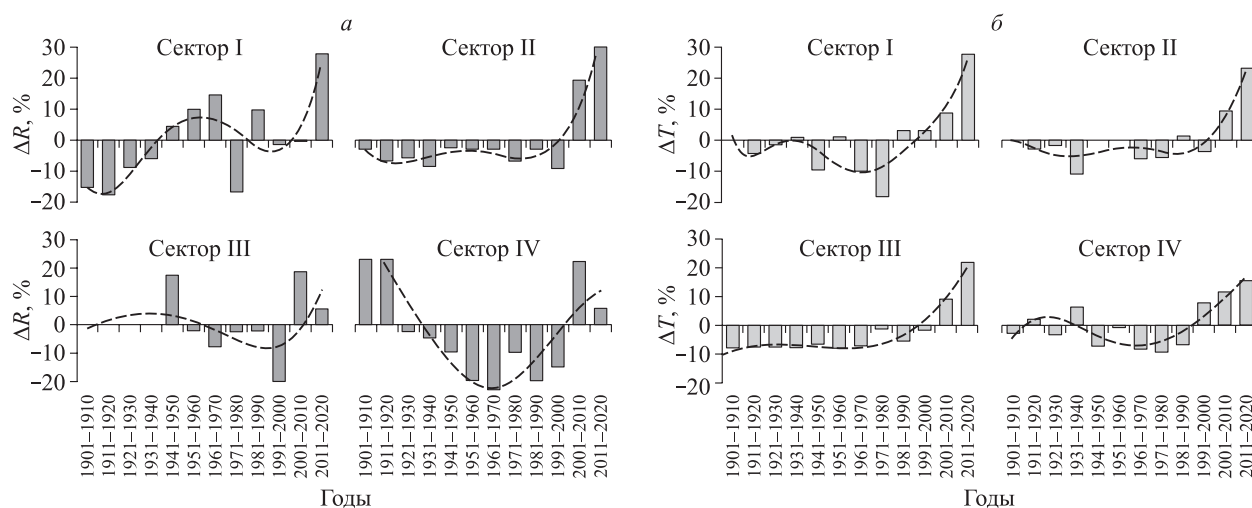
Среднее повышение температуры воздуха за май–сентябрь на градиенте долготы составляло 0.46 °C/10 лет в секторе I, 0.51 °C/10 лет в секторе II, 0.41 °C/10 лет в секторе III и 0.33 °C/10 лет в секторе IV. Наиболее значимый рост температуры в 2011–2022 гг. по отношению к периоду 1951–1960 гг. наблюдается в Средней и Восточной Сибири (секторы II и III), который в относительных значениях составил 30 и 39 % соответственно. В секторах I и IV относительный рост температуры воздуха варьировал на уровне 20–27 %. Относительное увеличение длительности вегетационного периода за 50 лет составило ~30 %, достигнув значения 71 ± 14.8 дней в 2011–2020 гг. по сравнению с 54 ± 9 дней в 1961–1970 гг. Для осадков характерен незначительный (0.73 мм/10 лет) тренд роста только в VI секторе, на остальной территории отмечается их снижение (–0.002, –0.75 и –1.48 мм/10 лет).

Изменение числа дней с грозовыми разрядами при общем росте среднегодовых значений в районе исследований на 31–255 % демонстрирует различия на градиенте долготы (табл. 1).

С запада на восток характеристика возрастает с ~2.1–2.3 дня/год в 1966–1980 гг. до 2.9–7.7 дней/год в 2011–2020 гг. Усредненная за более чем 50-летний период скорость прироста данного фактора варьирует на уровне 0.59–2.7 дней/10 лет.

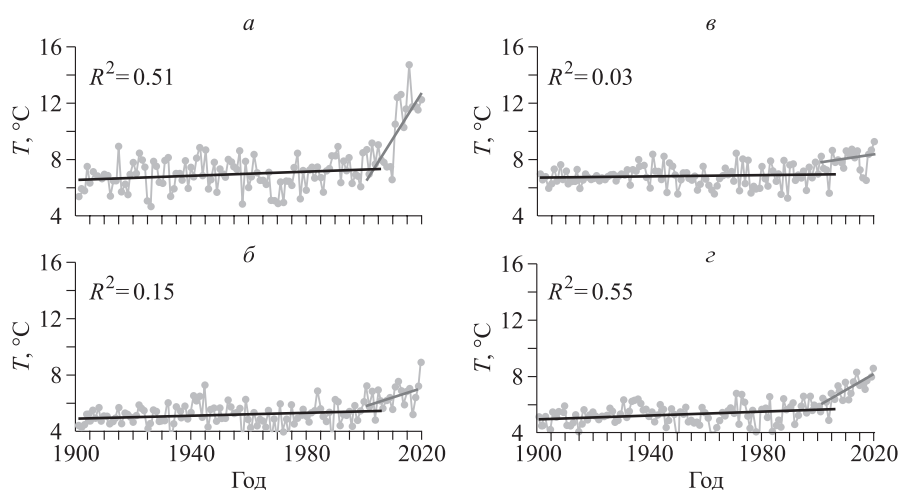
Увеличение числа дней с грозой коррелирует с динамикой температуры воздуха летнего периода (май–сентябрь) на уровне  $r = 0.31–0.57$ . Такая связь согласуется с оценками темпов увеличения грозовой активности при повышении средних глобальных температур на ~12 % /1 °C (Romps et al., 2014). При этом следует обратить внимание на тот факт, что относительный прирост значений данной характеристики в северных территориях Сибири (секторы I–III) значительно выше (92–255 %) в сравнении с данными для центральных (42 %) и южных (35 %) субрегионов (Иванов и др., 2023; Ivanov et al., 2023).

Показательна динамика усредненных по десятилетиям значений осадков и температур вегетационного периода по отношению к среднестатистической норме, рассчитанной за 120-летний период по материалам реанализа (рис. 4).



**Рис. 4.** Амплитуды аномалий, усредненных по 10-летним периодам суммы осадков (а) и суммы температур (б) вегетационного периода по отношению к значению 120-летней нормы.





**Рис. 5.** Температура вегетационного периода по данным реанализа за 1901–2021 гг. в рассматриваемых секторах I (а), II (б), III (в), IV (г).

Линейный тренд для 2010–2021 гг. выделен короткой прямой линией серого цвета с правой стороны рисунков.

Вариация и амплитуды аномалий относительно среднееголетних значений рассмотренных характеристик на качественном и количественном уровне позволяют описать долгопериодическую цикличность с периодом  $T \sim 40\text{--}50$  лет. Это укладывается в известные режимы изменчивости климатической системы, один из периодов которых составляет 20–60 лет (Бышев и др., 2014; Byshev et al., 2014), и объясняется общефизическими закономерностями динамики циркуляции атмосферы (Гирс, 1971), сохраняющей стабильность в течение от 1–4 десятилетий (Семенов, 2008; Semenov, 2008; Боков, Воробьев, 2010). При этом существенное изменение скорости роста температуры воздуха в 2010–2021 гг. прослеживается на всей территории исследований (рис. 5).

Начальный рост температуры воздуха вегетационного периода приходится на 2000-е годы, когда в среднем на  $1.2\text{ }^{\circ}\text{C}$  была превышена норма температуры периода 1900-х годов, что согласуется с прогнозами глобального потепления в Арктике (Descals et al., 2022).

В последнее десятилетие рассмотренного ряда 2011–2020 гг. в секторах I и II средняя амплитуда аномалии суммы осадков ( $\Delta R$ , %) за вегетационный период была на 27 и 32 % выше нормы 1901–2020 гг. (рис. 4). В то же время в восточных секторах III и IV аномалия осадков – 5.60 и 7.65 % – на уровне дисперсии значений. При этом аномалии температуры ( $\Delta T$ , %) к настоящему времени имеют значительные положительные амплитуды (15–27 %) на территории каждого из рассмотренных секторов, чего не случалось за 120 лет.

Отмеченные особенности метеорологических режимов, в первую очередь значимые для восточных секторов (III и IV) Арктики, могут косвенно свидетельствовать об усилении засушливости климата и, следовательно, быть предвестником роста горимости и интенсивности пожаров в восточной части арктической зоны Сибири, как это отмечается и в других публикациях по теме (Hayasaka, 2021).

Показатель тепло- и влагообеспеченности территории (ГТК) имеет отрицательный тренд для секторов I, III, в секторах II и IV изменения на временном интервале 1950–2020 гг. в целом незначительны (рис. 6).

При этом сглаженные по десятилетиям значения для секторов I, III и IV отражают снижение абсолютных значений ГТК с 1.32 до 1.28, с 0.72 до 0.63 и с 0.87 до 0.74 соответственно, в секторе II изменение тепло- и влагообеспеченности в настоящее время не имеет ярко выраженной тенденции.

Имеющиеся данные представлены в виде модели пространственно-временной вариации значений температуры воздуха и количества осадков вегетационного периода (рис. 7).

Можно констатировать, что рост температуры воздуха во всех рассмотренных секторах арктической зоны имеет одну и ту же тенденцию с незначительным отличием в восточной части (рис. 7, а). В то же время количество осадков за вегетационный период распределено неравномерно по территории, а в восточных секторах выражен тренд на снижение данного показателя (рис. 7, б).

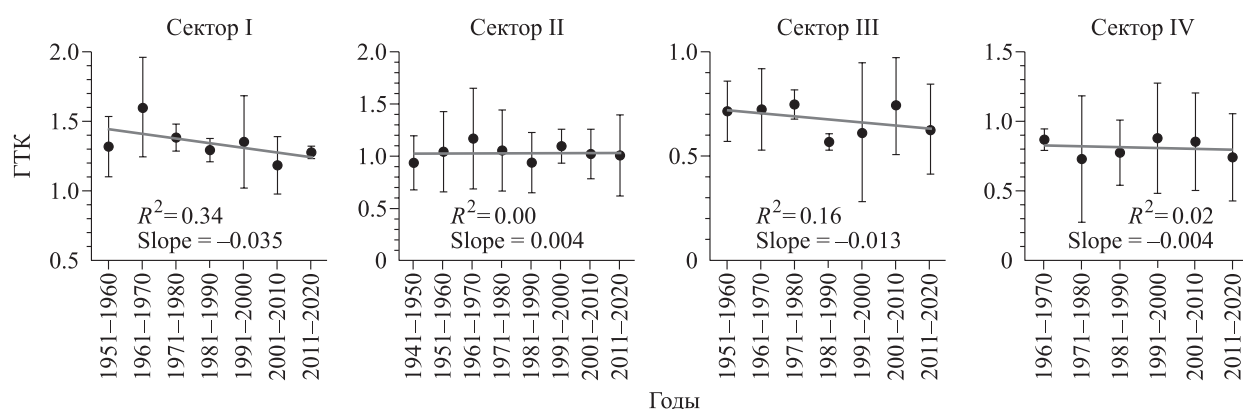


Рис. 6. Усредненные по десятилетиям значения показателя тепло- и влагообеспеченности (ГТК) по данным метеостанций.

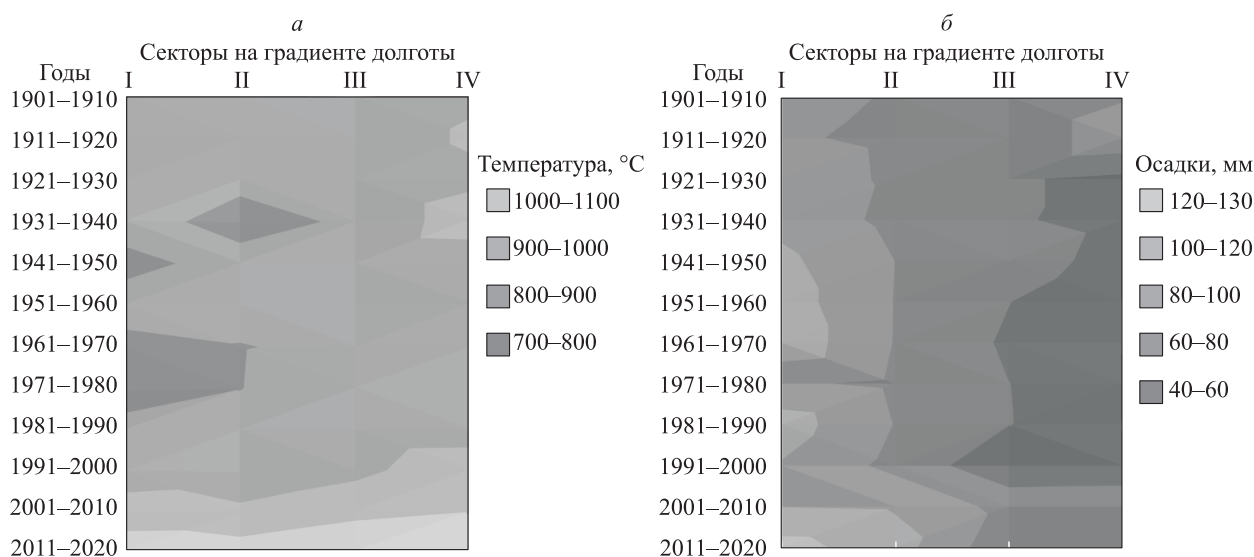


Рис. 7. Распределение сумм температуры воздуха (а) и осадков вегетационного периода (б) в арктических широтах (64–74° с. ш.).

Результаты, определенные для нерегулярной сети метеостанций, интерполированы стандартными средствами геоинформационной системы Quantum GIS (2023). Полученные пространственно-временные экстраполяции иллюстрируют динамику во времени и на градиенте долготы (рис. 8).

**Горимость на территории исследований.** Количество и площади пожаров в арктической Сибири увеличиваются с начала XXI в., повторяя закономерности пожаров в тундре Аляски и Канады (Mack et al., 2011; French et al., 2015).

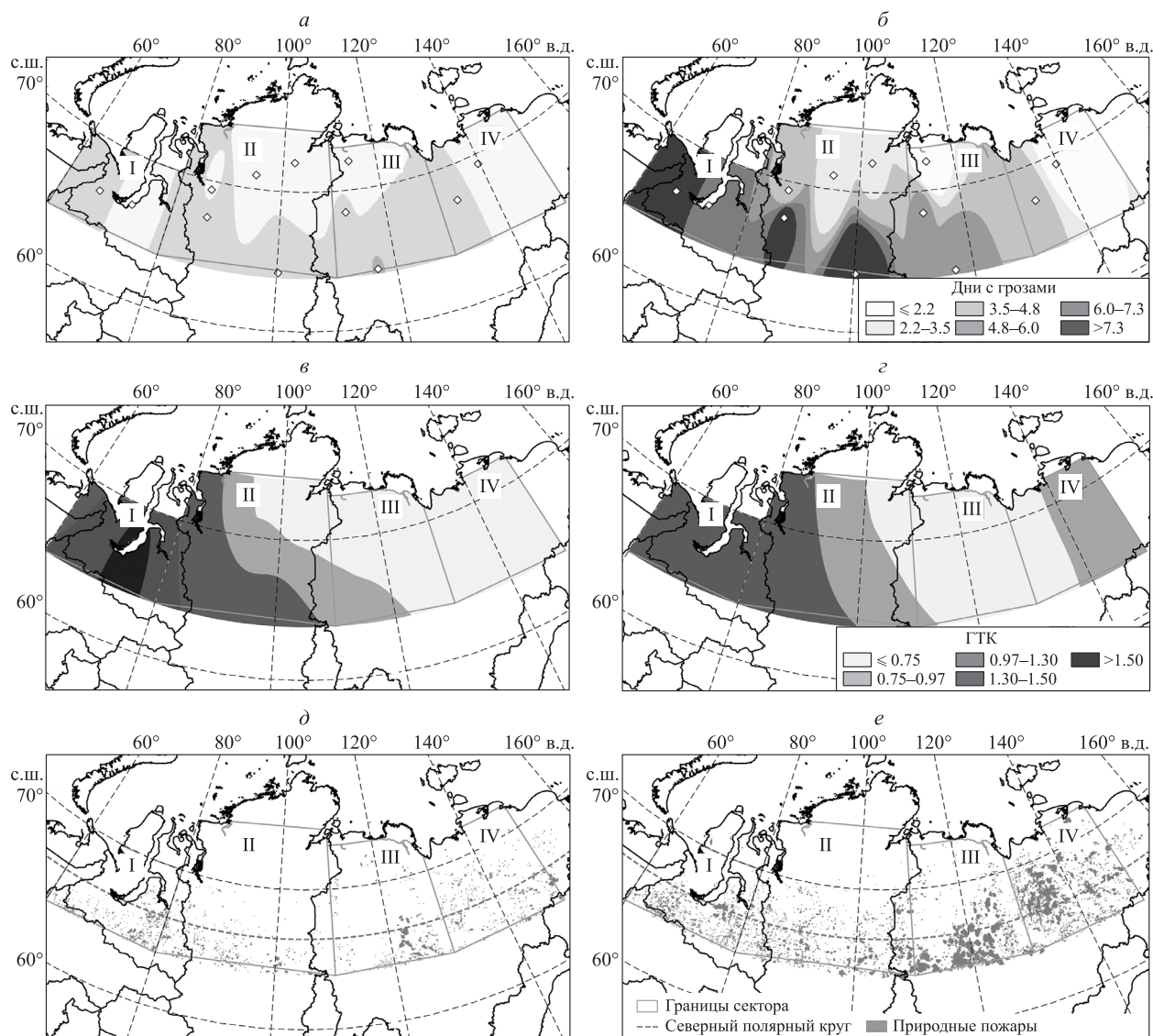
Пространственно наблюдается также смещение пожаров на восток, в 2011–2020 гг. наибольшая горимость отмечается для секторов III и IV (рис. 8, д, е).

Как уже отмечалось ранее (см. рис. 2), экстремальными пожароопасными сезонами последнего десятилетия можно считать период

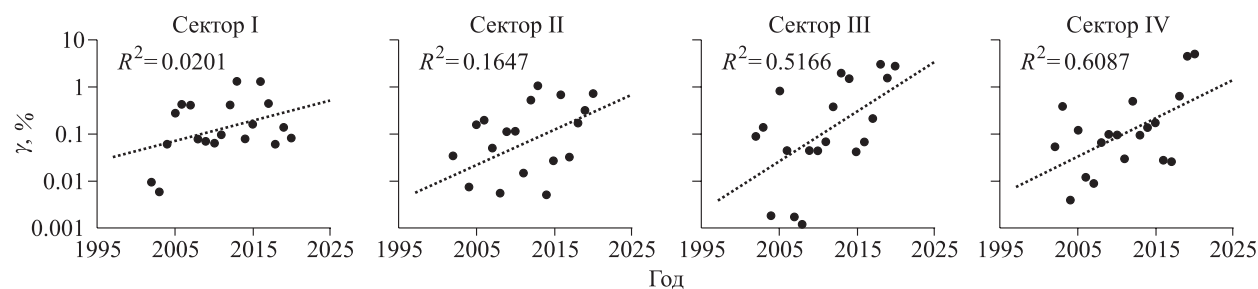
2018–2021 гг. Если ориентироваться на средне-многолетние значения показателя горимости  $\langle y \rangle$ , которые равны  $\langle y \rangle = 0.29, 0.22, 0.67$  и  $0.62$  % соответственно для секторов I, II, III, IV, то можно говорить о качественно новых режимах пожаров, развивающихся в последнее десятилетие по крайней мере для секторов II, III, IV, где горимость увеличилась в несколько раз до  $\langle y \rangle = 0.69, 2.65$  и  $4.86$  % соответственно (рис. 9).

Экстремально высокие показатели горимости вероятно связаны с крупными пожарами, длительность которых может достигать 30 и более дней. В общей многолетней статистике таких длительных пожаров не более 5–7 % (рис. 10).

Достоверность корреляционных связей между параметрами горимости в регионе и рассмотренным набором метеорологических характе-



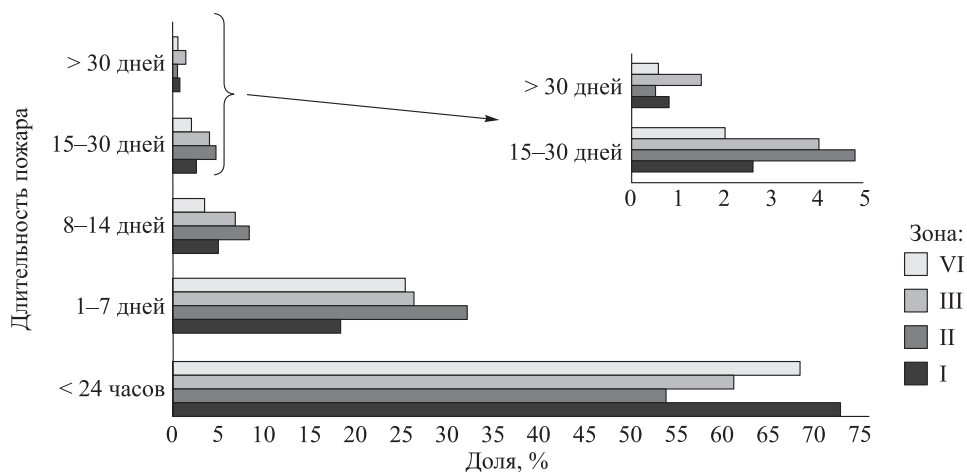
**Рис. 8.** Пространственно-временная экстраполяция данных метеостанций на район исследований. а, б – распределения среднегогодовых значений дней с грозой за периоды 1966–1980 и 2011–2020 гг.; в, з – вариация ГТК на временных интервалах 1961–1970 и 2011–2020 гг.; д, е – фактическое распределение пожаров на временных интервалах 2002–2010 и 2011–2020 гг.



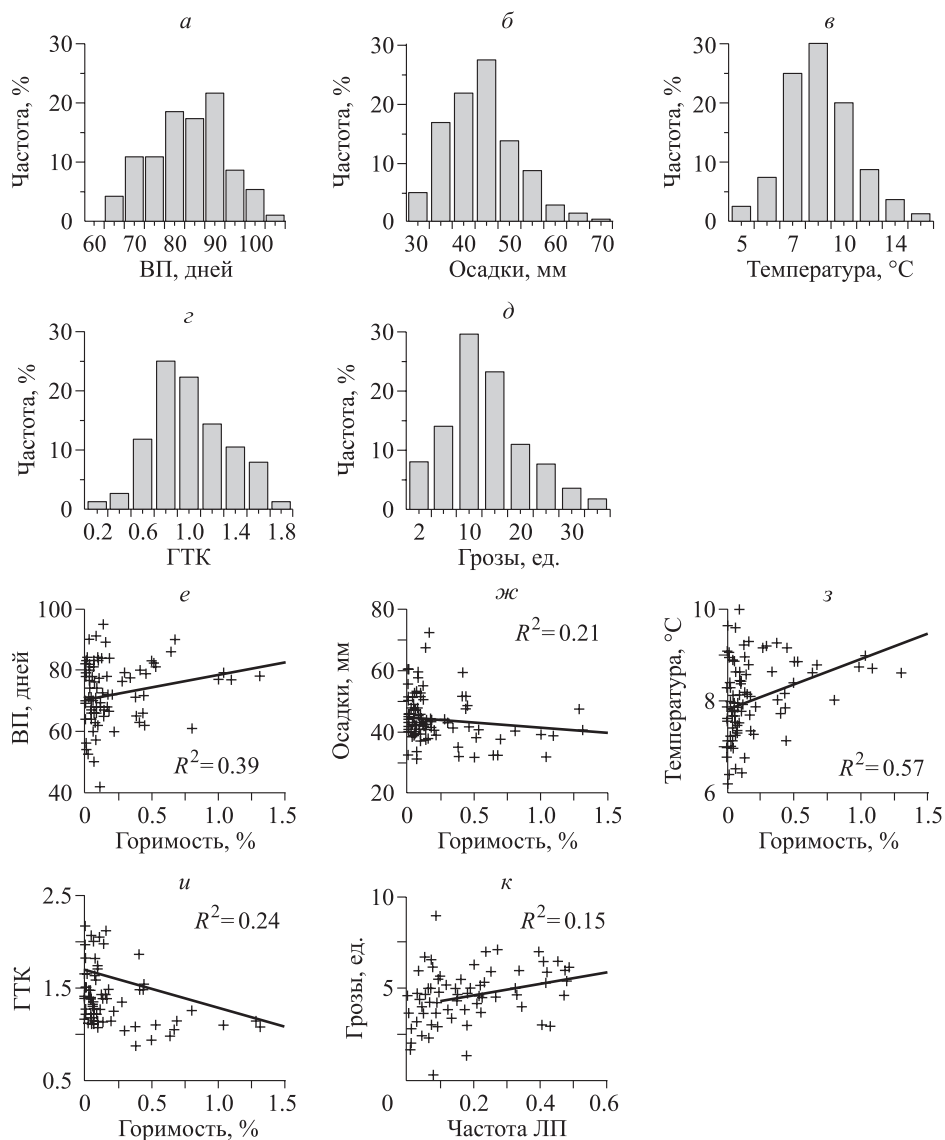
**Рис. 9.** Горимость на градиенте долготы за период инструментальных спутниковых наблюдений 1996–2022 гг.

ристик обусловлена выполнением совокупности требуемых условий (Hawkins, 2014). Для рассматриваемых параметров характерен квазинормальный вид распределения (рис. 11, а–д), а также линейность связей с показателем горимости (рис. 11, е–к).

В последнем случае в качестве зависимой переменной выбрана частота пожаров (рис. 11, к), поскольку грозовая активность в большей степени определяет статистику числа возгораний, а не площадей пожаров (Иванов и др., 2023; Ivanov et al., 2023).



**Рис. 10.** Распределение длительности пожаров по зонам исследований. Данные инструментального спутникового мониторинга ИЛ СО РАН 1996–2022 гг.



**Рис. 11.** Результаты предварительного анализа независимых переменных. *a–д* – проверка нормальности распределения; *e–к* – линейность связи с показателями горимости/частотой пожаров.

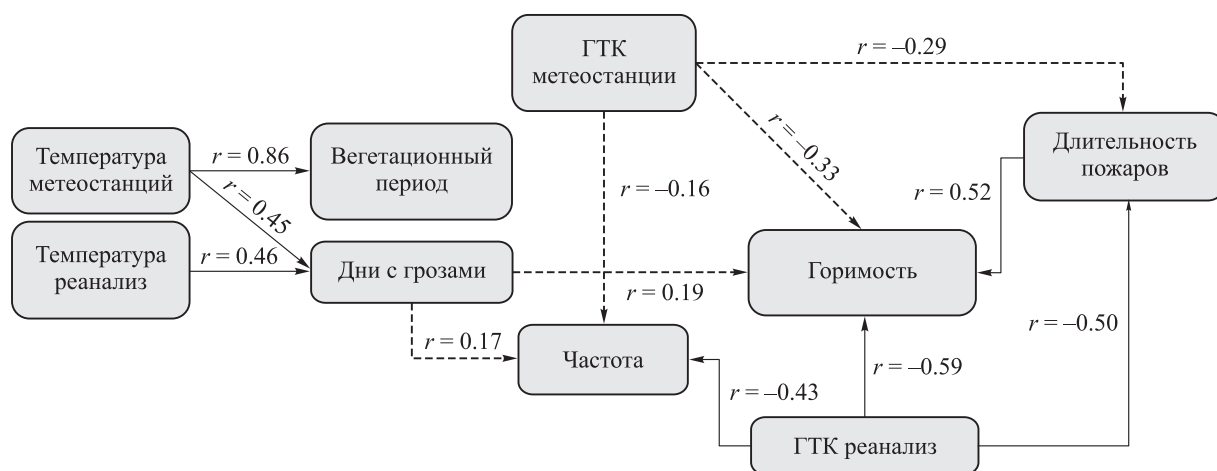


Рис. 12. Взаимосвязи между факторами возникновения пожаров в Сибирской Арктике на 2002–2022 гг.

Рассмотренный набор метеорологических характеристик, по общему признанию многих исследователей (Flannigan et al., 2009; Школьник и др., 2012; Shkol'nik et al., 2012; Валеник и др., 2014; Бышев и др., 2014; Byshev et al., 2014; Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б., 2014; Sherstyukov V. G., Sherstyukov A. B., 2014; Hayasaka, 2021; Иванов и др., 2023; Ivanov et al., 2023), следует рассматривать в качестве наиболее значимых независимых переменных, определяющих горимость лесов. При этом присутствие в качестве переменных таких параметров, как ГТК, фактически вычисляемого на основе независимых переменных осадков и температуры, или параметра числа гроз, имеющего в матрице кросс-корреляции с осадками значение  $r = 0.44$ , также следует считать оправданным. В этих случаях необходимо учитывать, что независимые переменные могут определять изменение как показателя горимости, связанного с площадями пожаров, так и показателя числа пожаров, где важно, например, влияние источников огня (молниевых разрядов), а кроме того, – уровня пожарной опасности по условиям погоды. В частности, температура воздуха вегетационного периода коррелирует с продолжительностью вегетационного периода ( $r = 0.86$ ) и грозовой активностью ( $r = 0.46$ ); показатель тепло- и влагообеспеченности (ГТК) имеет значимую обратную связь с горимостью ( $r = -0.59$ ), с длительностью пожаров ( $r = -0.5$ ) и с частотой пожаров ( $r = -0.43$ ).

Корреляционная матрица для совокупности квазинезависимых метеопараметров, влияющих на возникновение пожаров и на характеристики горимости в регионе, позволяет констатировать

значимый уровень корреляции между площадью пожаров и длительностью вегетационного периода ( $r = 0.32$ ), осадками ( $r = -0.31$ ), температурой воздуха летнего периода ( $r = 0.60$ ). При этом число пожаров определяется совокупностью переменных: длительностью вегетационного периода ( $r = 0.25$ ), количеством осадков ( $r = -0.38$ ), температурой воздуха летнего периода ( $r = 0.49$ ) и грозовой активностью ( $r = 0.20$ ). В целом горимость во всех секторах района исследований характеризуется значимой обратной корреляционной связью с показателем тепло- и влагообеспеченности ГТК на уровне  $r = -0.48 \dots -0.64$  для  $p < 0.05$ .

Потенциальные взаимосвязи между факторами, связанными с вариацией статистик пожаров растительности, обобщены на схеме (рис. 12).

Важнейшим параметром, характеризующим динамику всех рассмотренных факторов (см. рис. 3, 5, 6, табл. 1), является коэффициент линейного роста (Slope), которые мы применили для временной экстраполяции. Вычисления были обобщены для двух временных интервалов – до 2050 и 2100 г. (табл. 2).

Полученные экстраполяции по температуре согласуются с известными климатическими сценариями для зоны Арктики (Field et al., 2014; Descals et al., 2022). При этом важно, что отрицательный тренд тепло- и влагообеспеченности и увеличение грозовой активности арктической зоны Сибири на 70–80 % к 2050 и 2100 гг. будет значимым триггером изменения режима горимости района исследований на качественном и количественном уровнях.

Прогнозируемый уровень горимости может составить от 2.8 % к 2050 г. до 6.42 % к 2100 г.,

**Таблица 2.** Временная экстраполяция метеорологических факторов и показателя горимости в арктической зоне Сибири до 2050 и 2100 гг.

Фактор	Сценарий до 2050 г.		Сценарий до 2100 г.	
	Изменения			
	относительные, %	абсолютные	относительные, %	абсолютные
$T_{\text{возд}}$ , °С, метеостанции	34.55 ± 5.37	3.08 ± 0.56	43.88 ± 5.81	5.21 ± 0.93
$T_{\text{возд}}$ , °С, реанализ	22.39 ± 7.84	1.62 ± 0.81	27.65 ± 9.14	2.37 ± 1.19
ГТК*	-27.12 ± 22.23	-0.23 ± 0.22	-47.74 ± 44.59	-0.33 ± 0.32
Грозы, дней	74.33 ± 8.05	6.45 ± 3.39	80.54 ± 6.58	9.3 ± 4.84
Горимость, %	537.35 ± 293	2.81 ± 2.44	1226.27 ± 670	6.42 ± 5.58

*Примечание.* Знак минус в значениях обозначает снижение показателя.

значительно превышая современные среднемноголетние значения (см. рис. 9) и спорадические экстремумы, зафиксированные для экстремальных сезонов периода 2018–2021 гг. (см. рис. 2).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В арктической зоне Сибири при современных темпах климатических изменений возможно дальнейшее усиление роли пожаров как фактора, определяющего процессы на уровне как экосистем, так и глобального характера. В частности, пожары в тундре влияют не только на растительность, но и на тепловой баланс почвы и мерзлотных слоев. Одно из возможных проявлений – более значительное сезонное протаивание вечной мерзлоты и высвобождение парниковых газов, которые будут способствовать дальнейшему изменению климата (French et al., 2015; Kirdeyanov et al., 2020; Witze, 2020; Пономарева и др., 2022).

И хотя повторяемость экстремальных событий в зоне Арктики укладывается в общую цикличность пожарных сезонов Сибири (Conard, Romanev, 2020), вероятно, спорадические экстремумы горимости северных территорий будут иметь все большие масштабы в перспективе.

Потенциальные изменения климата, в частности рост температуры летнего периода, дефицит или перераспределение осадков (как в пространственном плане, так и во времени в течение сезона) способны существенно влиять на частоту возникновения пожаров растительности в Сибири и на арктической части территории Сибири в частности. При этом для Арктики Сибири, относимой к зоне исключительно спутникового мониторинга пожаров, будет возрастать риск увеличения площадей пожаров при условии отсутствия системы контроля, предупреждения и выборочного тушения пожаров.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИЛ СО РАН «Природная и антропогенная динамика таежных лесов Средней Сибири в условиях меняющегося климата» (№ FWES-2021-0008). Материалы спутникового мониторинга получены и обработаны с использованием оборудования Центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН.*

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Барталев С. А., Стыценко Ф. В. Спутниковая оценка гибели древостоев от пожаров по данным о сезонном распределении пройденной огнем площади // Лесоведение. 2021. № 2. С. 115–122.
- Боков В. Н., Воробьев В. Н. Изменчивость атмосферной циркуляции и изменение климата // Учен. зап. Рос. гос. гидрометеорол. ун-та. 2010. № 13. С. 83–88.
- Бышев В. И., Нейман В. Г., Пономарев В. И., Романов Ю. А., Серых И. В., Цурикова Т. В. Роль глобальной атмосферной циркуляции в формировании климатических аномалий Дальневосточного региона России // ДАН. 2014. Т. 458. № 1 С. 92–96.
- Валендик Э. Н., Иванова Г. А. Пожарные режимы в лесах Сибири и Дальнего Востока // Лесоведение. 2001. № 4. С. 69–73.
- Валендик Э. Н., Кисляхов Е. К., Рыжкова В. А., Пономарев Е. И., Голдаммер Й. Г. Лесные пожары в Средней Сибири при аномальных погодных условиях // Сиб. лесн. журн. 2014. № 3. С. 43–52.
- Вахнина И. Л., Носкова Е. В. Изменения климатических условий Юго-Восточного Забайкалья за период вегетации по метеорологическим и дендрохронологическим данным // Гидрометеорол. иссл. и прогнозы. 2021. Т. 381. № 3. С. 80–98.
- ВЕГА-PRO. Спутниковый сервис анализа вегетации. М.: ИКИ РАН, 2017. <http://pro-vega.ru/>
- Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации. Информация о метеорологических данных. Обнинск, 2023. <http://www.meteo.ru>
- Гирс А. А. Многолетние колебания атмосферной циркуляции и долгосрочные гидрометеорологические прогнозы. Л.: Гидрометеиздат, 1971. 280 с.

- Головинов Е. Э., Васильева Н. А. Сравнение многолетних метеорологических характеристик по данным реанализа и наземных наблюдений на территории Московской области // Мелиорация и гидротехника. 2022. Т. 12. № 3. С. 92–105.
- 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.
- Мокеев Г. А. Влияние экономических условий на горимость лесов и охрану их от пожаров // Современные вопросы охраны лесов от пожаров и борьбы с ними. М.: Лесн. пром-сть. 1965. С. 26–37.
- Национальный атлас почв Российской Федерации / гл. ред. чл.-корр. РАН С. А. Шоба. М.: Астрель, 2011. 632 с. <https://soil-db.ru/soilatlas>
- Национальный атлас России. М., 2021 а. Т. 2: Климатическое районирование. <https://nationalatlas.ru/tom2/146-150.html>
- Национальный атлас России. М., 2021. Т. 2: Растительность. <https://nationalatlas.ru/tom2/328-330.html>
- Пономарев Е. И., Швецов Е. Г. Спутниковое детектирование лесных пожаров и геоинформационные методы калибровки результатов // Иссл. Земли из космоса. 2015. № 1. С. 84–91.
- Пономарев Е. И., Скоробогатова А. С., Пономарева Т. В. Горимость лесов Сибири и межсезонные вариации уровня тепло- и влагообеспеченности // Метеорол. и гидрол. 2018. № 7. С. 45–55.
- Пономарева Т. В., Пономарев Е. И., Литвинцев К. Ю., Финников К. А., Якимов Н. Д. Тепловое состояние нарушенных почв в криолитозоне Сибири на основе дистанционных данных и численного моделирования // Вычисл. технол. 2022. Т. 27. № 3. С. 16–35.
- Семенов В. А. Влияние океанического притока в Баренцево море на изменчивость климата в Арктике // ДАН. 2008. Т. 418. № 1. С. 106–109.
- Швиденко А. З., Щепаченко Д. Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. 2013. № 5. С. 50–61.
- Шерстюков Б. Г., Шерстюков А. Б. Оценки тенденций усиления лесных пожаров в России до конца XXI в. по данным сценарных экспериментов климатических моделей пятого поколения // Метеорол. и гидрол. 2014. № 5. С. 17–30.
- Школьник И. М., Мелешко В. П., Ефимов С. В., Стафеева Е. Н. Изменения экстремальности климата на территории Сибири к середине XXI в.: ансамблевый прогноз по региональной модели ГГО // Метеорол. и гидрол. 2012. № 2. С. 5–22.
- Цатуров Ю. С., Клепиков А. В. Современное изменение климата Арктики: результаты нового оценочного доклада Арктического совета // Арктика: экология и экономика. 2012. Т. 4. № 8. С. 76–81.
- Arctic Climate Impact Assessment (ACIA). Overview report. Cambridge Univ. Press, 2005. 1020 p.
- Byshch V. I., Neyman V. G., Ponomarev V. I., Romanov Yu. A., Serykh I. V., Tsurikova T. V. The influence of global atmospheric oscillation on formation of climate anomalies in the Russian Far East // Dokl. Earth Sci. 2014. V. 458. Part 1. P. 1116–1120 (Original Rus. text © V. I. Byshch, V. G. Neiman, V. I. Ponomarev, Yu. A. Romanov, I. V. Serykh, T. V. Tsurikova, 2014, publ. in Doklady Akademii Nauk. 2014. V. 458. N. 1. P. 92–96).
- Ciavarella A., Cotterill D., Stott P., Kew S., Philip S., Oldenborgh G. J. van, Skålevåg A., Lorenz P., Robin Y., Otto F., Hauser M., Seneviratne S. I., Lehner F., Zolina O. Prolonged Siberian heat of 2020 almost impossible without human influence // Climatic Change. 2021. V. 166. Iss. 1–2. Article 9. 18 p.
- Conard S. G., Ponomarev E. I. Fire in the north – the 2020 Siberian fire season // Wildfire. 2020. N. 4. 7 p.
- Descals A., Gaveau D. L., Verger A., Sheil D., Naito D., Peñuelas J. Unprecedented fire activity above the Arctic Circle linked to rising temperatures // Science. 2022. V. 378. Iss. 6619. P. 532–537.
- Dymov A. A., Startsev V. V., Yakovleva E. V., Dubrovskiy Y. A., Milanovsky E. Y., Severgina D. A., Panov A. V., Prokushkin A. S. Fire-induced alterations of soil properties in albic podzols developed under pine forests (middle taiga, Krasnoyarsky Krai) // Fire. 2023. V. 6. Iss. 2. Article 67. 22 p.
- Field C. B., Barros V., Dokken D. J. Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Global and Sectoral Aspects In: Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Chapter: IPCC, 2014: Summary for policymakers. Cambridge, UK and New York, USA: Cambridge Univ. Press, 2014. P. 1–32.
- Flannigan M., Stocks B., Turetsky M., Wotton M. Impacts of climate change on fire activity and fire management in the circumboreal forest // Glob. Change Biol. 2009. V. 15. Iss. 3. P. 549–560.
- French N. H. F., Jenkins L. K., Loboda T. V., Flannigan M., Jandt R., Bourgeau-Chavez L. L., Whitley M. Fire in the tundra of Alaska: Past fire activity, future fire potential, and significance for land management and ecology // Int. J. Wildland Fire. 2015. V. 24. Iss. 8. P. 1045–1061.
- Global Climate Monitor, 2023. <https://www.globalclimate-monitor.org/#>
- Hayasaka H. Rare and extreme wildland fire in Sakha in 2021 // Atmosphere. 2021. V. 12. Iss. 12. Article 1572. 14 p.
- Hawkins D. Biomeasurement: A student's guide to biological statistics. 3<sup>rd</sup> ed. Oxford, UK: Oxford Univ. Press, 2014. 333 p.
- Ivanov V. A., Ponomarev E. I., Ivanova G. A., Malkanova A. V. Thunderstorms and forest fires in current climatic conditions of Central Siberia // Rus. Meteorol. and Hydrol. 2023. N. 7. P. 630–638 (Original Russian text © V. A. Ivanov, E. I. Ponomarev, G. A. Ivanova, A. V. Malkanova, 2023, publ. in Meteorol. i gidrol. 2023. N. 7. P. 102–113).
- Ivanova G. A. The history of forest fire in Russia // Dendrochronologia. 1998. V. 16–17. P. 147–161.
- Kharuk V. I., Dvinskaya M. L., Im S. T., Golyukov A. S., Smith K. T. Wildfires in the Siberian Arctic // Fire. 2022. V. 5. N. 4. Article 106. 15 p.
- Kirdyanov A. V., Saurer M., Siegwolf R., Knorre A. A., Prokushkin A. S., Churakova, O. V., Fonti M. V., Büntgen U. Long-term ecological consequences of forest fires in the continuous permafrost zone of Siberia // Environ. Res. Lett. 2020. V. 15. N. 3. Article 034061. 11 p.
- Knorre A. A., Kirdyanov A. V., Prokushkin A. S., Krusic P. J., Büntgen U. Tree ring-based reconstruction of the long-term influence of wildfires on permafrost active layer

- dynamics in Central Siberia // *Sci. Total Environ.* 2019. V. 652. Iss. 3. P. 314–319.
- Mack M. C., Bret-Harte M. S., Hollingsworth T. N., Jandt R. R., Schuur E. A. G., Shaver G. R., Verbyla D. L. Carbon loss from an unprecedented Arctic tundra // *Nature*. 2011. V. 475. N. 7357. P. 489–492.
- Ponomarev E. I., Masyagina O. V., Litvintsev K. Y., Ponomareva T. V., Shvetsov E. G., Finnikov K. A. The effect of post-fire disturbances on a seasonally thawed layer in the permafrost larch forests of Central Siberia // *Forests*. 2020. V. 11. Iss. 8. Article 790. 18 p.
- Ponomarev E. I., Skorobogatova A. S., Ponomareva T. V. Wildfire occurrence in Siberia and seasonal variations in heat and moisture supply // *Rus. Meteorol. Hydrol.* 2018. V. 43. Iss. 7. P. 456–463 (Original Russian text © E. I. Ponomarev, A. S. Skorobogatova, T. V. Ponomareva, 2018, publ. in *Meteorol. i gidrol.* 2018. N. 7. P. 45–55).
- Ponomarev E. I., Zabrodin A. N., Shvetsov E. G., Ponomareva T. V. Wildfire intensity and fire emissions in Siberia // *Fire*. 2023. V. 6. Iss. 7. Article 246. 14 p.
- Quantum Geographic Information System. Ver. 3.22.14, 2023. <https://www.qgis.org/ru/site/forusers/download.html>
- Romps D., Seeley J., Vollaro D., Molinari J. Projected increase in lightning strikes in the United States due to global warming // *Science*. 2014. V. 346. N. 6211. P. 851–854.
- Semenov V. A. Influence of oceanic inflow to the Barents Sea on climate variability in the Arctic region // *Dokl. Earth Sci.* 2008. V. 418. Iss. 1. P. 91–94 (Original Rus. text © V. A. Semenov, 2008, publ. in *Dokl. Akademii Nauk.* 2008. V. 418. N. 1. P. 106–109).
- Sherstyukov B. G., Sherstyukov A. B. Assessment of increase in forest fire risk in Russia till the late 21st century based on scenario experiments with fifth-generation climate models // *Rus. Meteorol. Hydrol.* 2014. V. 39. Iss. 5. P. 292–301 (Original Rus. text © B. G. Sherstyukov, A. B. Sherstyukov, 2014, publ. in *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2014. N. 5. P. 17–30).
- Shkol'nik I. M., Meleshko V. P., Efimov S. V., Stafeeva E. N. Changes in climate extremes on the territory of Siberia by the middle of the 21<sup>st</sup> century: An ensemble forecast based on the MGO regional climate model // *Rus. Meteorol. Hydrol.* 2012. V. 37. Iss. 2. P. 71–84 (Original Rus. text © I. M. Shkol'nik, V. P. Meleshko, S. V. Efimov, E. N. Stafeeva, 2012, publ. in *Meteorologiya i Gidrologiya*. 2012. N. 2. P. 5–23).
- Shvidenko A. Z., Shchepashchenko D. G. Climate changes and wildfires in Russia // *Contemp. Probl. Ecol.* 2013. V. 6. N. 7. P. 683–692 (Original Rus. text © A. Z. Shvidenko, D. G. Shchepashchenko, 2013, publ. in *Lesovedenie*. 2013. N. 5. P. 50–61).
- Witze A. The Arctic is burning like never before – and that's bad news for climate change // *Nature*. 2020. V. 585. N. 7825. P. 336–337.
- Xu W., Scholten R. C., Hessilt T. D., Liu Y., Veraverbeke S. Overwintering fires rising in eastern Siberia // *Environ. Res. Lett.* 2022. V. 17. N. 4. Article 45005. 10 p.



## WILDFIRES OF THE ARCTIC ZONE OF SIBERIA UNDER THE CONDITIONS OF CLIMATIC CHANGES OF THE XX – EARLY XXI CENTURIES

P. D. Tretyakov<sup>1,2</sup>, E. I. Ponomarev<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> Siberian Federal University  
Prospekt Svobodny, 79, Krasnoyarsk, 660041 Russian Federation

---

E-mail: ptretyakov99@mail.ru, evg@ksc.krasn.ru

The dynamics of vegetation fires on the territory of the Arctic zone of Siberia (64–74°N, 60–150°E) was studied under the conditions of observed climatic changes at the turn of the XX – beginning of the XXI centuries. In the study area, four sectors with an interval of 20° were considered on the longitude gradient, so that the longitude boundaries for each sector coincided with the boundaries of the basins of the large rivers Ob, Yenisei (with Khatanga), Lena, Yana, Indigirka, and Kolyma. As the initial data, the V. N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences fire bank was used, collected from satellite monitoring materials in 1996–2022, as well as materials of reanalysis of meteorological information on the territory of Siberia from open catalogs for more than 100-year observation interval 1900–2022. The paper analyzes the spatio-temporal variation of the main meteorological characteristics, including air temperature, precipitation, lightning activity with details on the longitude gradient. Additionally, the trends of changes in the level of heat and moisture supply and the duration of the fire-hazardous period have been restored. The measure of the relative anomalies of the main meteorological factors in the time interval 2000–2022 in comparison with the average statistical norms of the 100-year period and the relative rate of their change in the modern climate are revealed. Geospatial interpolation was performed by means of geoinformation systems. Qualitatively and quantitatively, the level of connection between the burning of the Siberian Arctic in the period 2002–2022 has been established. depending on the off-season variations of heat and moisture availability.

**Keywords:** *vegetation fires, satellite data, meteorological information, spatial interpolation, hydrothermal coefficient, trends.*

**How to cite:** *Tretyakov P. D., Ponomarev E. I. Wildfires of the Arctic zone of Siberia under the conditions of climatic changes of the XX – early XXI centuries // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 17–31 (in Russian with English abstract and references).*

УДК 630\*614.849

## СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ИНДЕКСОВ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В ЛЕСАХ

Р. В. Котельников, А. Н. Чугаев

*Центр лесной пирологии, развития технологий охраны лесных экосистем, защиты и воспроизводства лесов – филиал Всероссийского НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства 660062, Красноярск, ул. Крупской, 42*

E-mail: center@firescience.ru, chugaevaa@firescience.ru

Поступила в редакцию 27.03.2023 г.

К одним из наиболее важных факторов, влияющих на пожарную опасность лесов, относятся условия погоды. При наличии всевозможных методических подходов (в частности, к учету осадков) и различиях лесоводственных и природно-климатических условий, а также при разной плотности метеостанций рассчитанные по указанным методикам значения существенно различаются по лесным районам. Для корректной оценки качества методик и правильной интерпретации полученных результатов разработан специальный инструментарий, позволяющий произвести необходимую предварительную обработку и визуализацию данных в виде интерактивной панели. Существующие подходы основывались на линейном коэффициенте корреляции Пирсона. Вместе с тем этот критерий применим только в случае, если исходные данные распределены по нормальному закону. Сформированные в ИСДМ-Рослесхоз большие объемы данных показывают, что это не так. Новый подход отличается тем, что исходные данные предварительно преобразуются методом логарифмирования, а это повышает точность полученных оценок. Разработанный инструментарий позволил провести сравнительный анализ основных методик, используемых в России. Для большей территории (30 %) лучшие результаты получены с использованием методики показателя влажности с учетом гигроскопичности (ПВГ), на втором месте – методика показателя влажности 2 (ПВ-2, 26 %), далее следуют методики показателя влажности 1 (ПВ-1, 20 %) и Нестерова (13 %). На остальной территории (11 %) результат не является статистически значимым. Подготовленная авторами интерактивная карта в сочетании с динамическим графиком позволяет визуализировать результаты сравнения до уровня лесных районов внутри субъектов Российской Федерации, упростив тем самым интерпретацию полученных результатов. Итоги работы могут быть использованы для совершенствования шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды.

**Ключевые слова:** частота лесных пожаров, корреляция, интерактивная панель.

DOI: 10.15372/SJFS20230604

### ВВЕДЕНИЕ

Условия погоды являются одним из наиболее важных факторов, влияющих на пожарную опасность лесов. Существуют различные методики оценки такой опасности (Софронова и др., 2007; Иванов и др., 2020; Torres-Rojo, 2020; Плотникова, 2021). Наиболее распространены методики Нестерова, показателей влажности: ПВ-1 и ПВ-2. В литературе упоминается и шкала показателя влажности с учетом гигроскопичности (ПВГ) (Софронова и др., 2007), но на практике она практически не используется. При

наличии всевозможных методических подходов (в частности, к учету осадков) и различий лесоводственных и природно-климатических условий, а также при разной плотности метеостанций, рассчитанные по указанным методикам значения существенно различаются по лесным районам. Таким образом, актуальна проблема оценки того, какая методика более адекватно соотносится с реальным риском возникновения лесных пожаров.

Цель исследования – разработка критериев сравнительной оценки качества наиболее распространенных методик пожарной опасности в

лесах в зависимости от условий погоды, а также инструментария для визуализации полученных результатов. Для ее достижения необходимо решить следующие задачи:

- выбрать критерий, по которому будет проводиться оценка шкал;
- создать инструментарий, упрощающий процесс визуализации полученных результатов;
- выполнить сравнительный анализ наиболее распространенных методик оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды с использованием предлагаемого подхода;
- интерпретировать полученные результаты.

Большинство ранее выполненных аналогичных исследований не учитывали форму распределения значений. Большой объем накопленных данных, а также развитие современных методов их обработки позволяют модифицировать известный подход с целью повышения его адекватности.

Научной новизной предложенного подхода является учет формы распределения значений в исходных данных.

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исходными данными для исследования были сведения о лесных пожарах по данным наземных и авиационных наблюдений, полученные от региональных диспетчерских пунктов с 2012 по 2022 г. Период 11 лет выбран для того, чтобы учесть особенности, связанные с солнечной активностью. Комплексные показатели пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды (далее – индексы) рассчитаны по методикам Нестерова; ПВ-1, ПВ-2 и ПВГ также с 2012 по 2022 г. (Вонский и др., 1981; Приказ..., 2011; Ковалев и др., 2020; Информационная система..., 2023).

Перечисленные методики основаны на накопительном показателе (иногда называемом индексом засухи), который отсчитывается со дня с осадками и постепенно нарастает (в зависимости от температуры и влажности). Важным отличием является то, что при любом количестве осадков указанный индекс следует обнулять (или уменьшать) (Софронова и др., 2007). Для удобства практического использования нормативно задают границы индексов и определяют значение класса (т. е. задают шкалу пожарной опасности). Указанные шкалы могут различаться для разных регионов. Вместе с тем для оценки качества методик далее в исследовании будут сравниваться не шкалы, а сами индексы. При

этом применяется несколько подходов. Один из них – это сравнение значений с влагосодержанием однотипного эталонного растительного горючего материала (РГМ) (обычно покрова из зеленых мхов на дренированной почве) или по сопряженности с пожарной зрелостью опытных участков (Viegas et al., 1999; Софронова и др., 2007).

Еще один вариант оценки работы показателей (индексов) – метод статистических проб, например по способности выделять дни с альтернативными уровнями пожарной опасности, как очень низкой, так и наиболее высокой (Viegas et al., 1999).

Также существует возможность непосредственного сравнения степени взаимосвязи индекса с частотой лесных пожаров. С увеличением объема данных именно этот метод становится более предпочтительным. Обычно сравнивается значение индексов либо с возникающими лесными пожарами, либо с действующими в этот день (Софронова и др., 2007). По нашему мнению, на количество действующих (т. е. не только возникших вновь, но и непотушенных пожаров из возникших в предшествующие дни), влияет также и целый ряд прочих производственных факторов (наличие ресурсов пожаротушения, качество работы лесопожарных служб и т. д.), т. е. если сравнивать только шкалы, то лучше анализировать только вновь возникающие.

Наиболее простым и распространенным подходом для оценки того, насколько адекватно какой-либо индекс характеризует риски возникновения лесных пожаров, это рассчитать корреляцию (степень взаимосвязи) между этим индексом и числом лесных пожаров. Аналогичные исследования уже проводились ранее (Губенко, Рубинштейн, 2012; Волокитина и др., 2017; Srock et al., 2018; Ziel et al., 2020). Большинство указанных работ выполнены на ограниченном объеме данных или для ограниченного участка лесов.

Кроме того, при реализации подобного подхода возникает ряд сложностей, которые серьезно влияют на результат. В частности, статистические критерии, характеризующие степень взаимосвязи двух выборок, зависят от формы распределения значений. Большинство упомянутых исследований используют для оценки коэффициента корреляции Пирсона. Вместе с тем указанная статистика применима только для случая нормального распределения значений.

С использованием функционала программы Statistica, (в частности, модуль «Подгонка») был

**Таблица 1.** Оценка близости реальных распределений к основным параметрическим распределениям по критерию Колмогорова – Смирнова

Параметрическое распределение	Частота возникновения пожаров	Методика			
		Нестерова	ПВ-1	ПВ-2	ПВГ
General Pareto (scale, shape)	0.059	0.029	0.009	0.017	0.047
Log Normal (scale, shape)	0.062	0.034	0.041	0.047	0.085
General Extreme Value (location, scale, shape)	0.077	0.051	0.044	0.029	0.069
Weibull (scale, shape)	0.086	0.029	0.049	0.048	0.025
Gaussian Mixture (Mixing. Coef. 1, Mean 1, Std. Dev 1, Mixing Coef. 2, ...)	0.155	0.156	0.131	0.133	0.094
Normal (location, scale)	0.263	0.311	0.301	0.293	0.183
Half Normal (scale)	0.356	0.413	0.381	0.407	0.175
Rayleigh (scale)	0.497	0.570	0.545	0.565	0.334
Triangular (min, max, mode)	0.535	0.815	0.828	0.712	0.511

рассчитан критерий Колмогорова – Смирнова, показывающий близость реального распределения к стандартным параметрическим распределениям (табл. 1).

Как видно из табл. 1, логнормальное распределение существенно лучше описывает форму исходных данных, чем нормальное распределение. Это также подтверждается исследованиями других авторов (Torres-Rojo, 2020; Котельников, Лупян, 2022).

Таким образом, повысить точность сравнительной оценки различных методик можно преобразовав исходную выборку методом логарифмирования. Полученные преобразованные значения ближе к нормальному распределению, и значение статистики корреляции Пирсона будет лучше отражать степень взаимосвязи (рис. 1).

Так как на пожарную опасность и на лесные пожары влияет множество факторов, это приводит к большому колебанию значений. Поскольку иные факторы чаще всего разнонаправлены, то с целью снижения влияния подобных «шумов» в исходных данных необходимо ввести определенное усреднение (как по времени, так и по значениям).

В качестве оптимального временного интервала обычно выбирают декаду года (10 дней). Учитывая логнормальное распределение индексов, для получения равномерных значений ошибок на каждом рассматриваемом интервале их значений, ширину такого интервала тоже лучше выбирать с логарифмическим шагом (тогда количество случаев, попавших в указанный интервал, будет схожим). Выбрав значение шага равное 0.1, мы существенно упростим алгоритм расчета, т. е. для оценки корреляции будем для

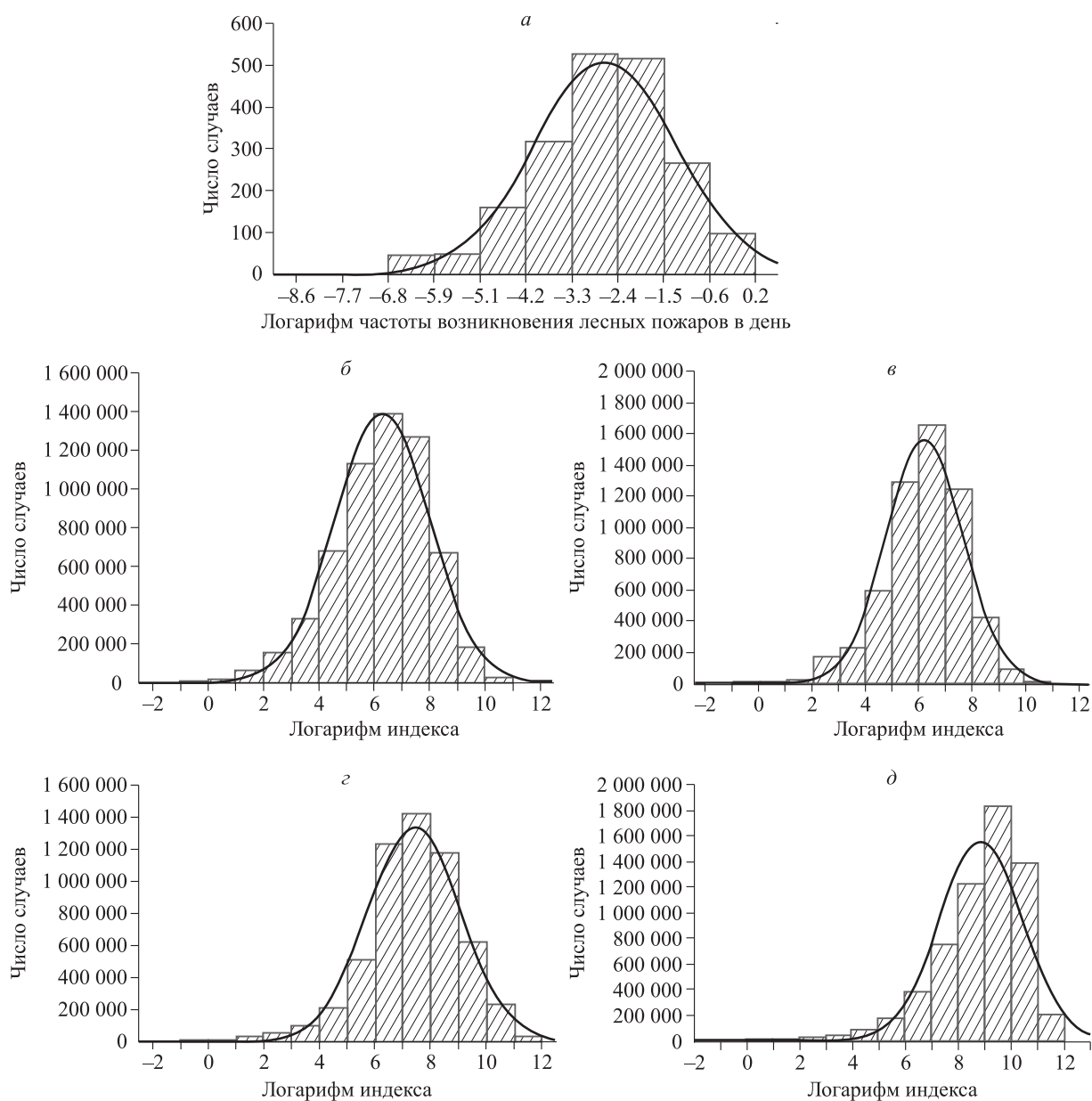
каждой декады группировать пожары, у которых значение логарифма индекса пожарной опасности, округленное до одной десятой, совпадает.

С точки зрения поставленной задачи достаточно рассматривать число лесных пожаров, возникших в эту декаду при заданном значении логарифма индекса и для данного участка территории. Но для удобства сравнения горимости между разными территориями (лесными районами внутри субъектов Российской Федерации) будем использовать частоту лесных пожаров (число пожаров на 1 млн га площади). Форма распределения для выборки внутри каждой территории от такого преобразования не изменится.

В качестве минимальной территориальной единицы, для которой выполняется расчет, целесообразно взять лесные районы внутри субъектов Российской Федерации.

Учитывая перечисленные особенности, итоговый алгоритм обработки данных будет следующий:

- сформировать список лесных пожаров в разрезе лесных районов внутри субъекта Российской Федерации;
- для каждого лесного пожара определить логарифм индексов пожарной опасности;
- сгруппировать лесные пожары по значению логарифма индекса, округленного до одной десятой;
- найти значение логарифма суммы лесных пожаров по каждой группе;
- рассчитать значение корреляции Пирсона, а также коэффициент статистической значимости указанного расчета ( $p$ -уровень);
- выбрать методику расчета индекса с наибольшим значением корреляции (учитывая только случаи, для которых  $p$ -уровень не превышает 0.05).



**Рис. 1.** Форма распределения преобразованных значений исходных данных.

*а* – частота возникновения лесных пожаров в день; *б* – методика Нестерова; *в* – методика ПВ-1; *г* – методика ПВ-2; *д* – методика ПВГ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

С учетом предложенного выше подхода сформированы четыре выборки (для каждой методики расчета индекса) следующей структуры:

- код лесного района внутри субъекта Российской Федерации;
- логарифм индекса пожарной опасности;
- логарифм частоты возникновения лесных пожаров.

Суммарно все выборки содержат 4 877 476 записей.

Результат сравнительного анализа представлен на рис. 2.

Для удобства интерпретации полученного результата на базе платформы DataLens сформирована интерактивная информационная панель (дашборд). Данный дашборд позволяет не просто цветом визуализировать в нужном масштабе на выбор результат сравнения (лучшую шкалу) или значение корреляции, но и выбрать нужный участок территории для просмотра всех промежуточных значений в текстовом виде.

Кроме того, автоматически строятся столбчатые диаграммы со средневзвешенными значениями индексов, а также круговая диаграмма для

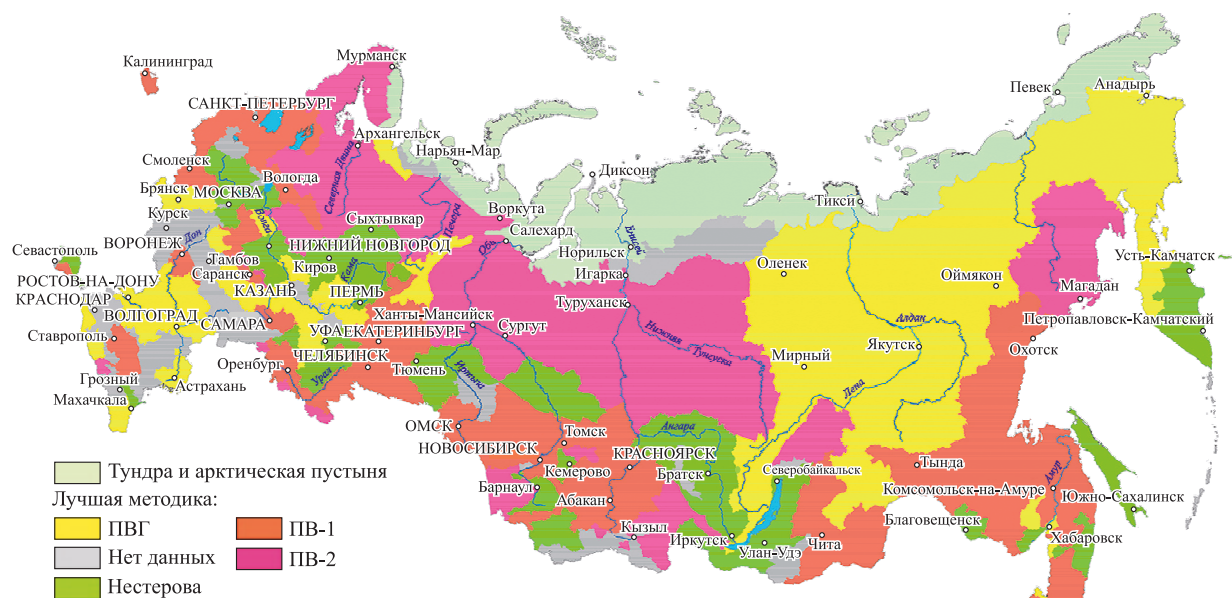


Рис. 2. Распределение территорий, где указанные методики оценки пожарной опасности в лесах имеют большее соответствие частоте возникающих лесных пожаров (2012–2022 гг.).

оценки доли площади, на которой соответствующая методика показывает лучшие результаты и осуществляет проверку правильности расчета (Сравнение..., 2023).

Полученные в ходе исследования результаты позволили сделать вывод, что для 30 % лесов в России лучший результат показала методика ПВГ. Дополнительный анализ показал, что это связано в первую очередь с редкой сетью метеостанций. В случае, если осадки прошли непосредственно над метеостанцией, при классическом подходе индекс пожарной опасности обнуляется, но это не значит, что осадки прошли по всей зоне обслуживания и пожары могут быть. Поскольку в методиках ПВ-2 и ПВГ алго-

ритм снижения значения индекса в зависимости от количества осадков более плавный, то они показывают большую корреляцию с пожарами в регионах, где плотность метеостанций ниже.

Для методики ПВГ приходится 30 % территории, ПВ-2 – 26 %, ПВ-1 – 20 %. Методика Нестерова (13 % территории) изначально разрабатывалась для Европейской части России, поэтому неудивительно, что именно там она показывает более хорошие результаты. Для 11 % полученный результат не является статистически значимым. Для удобного сравнения результатов можно отобразить на одном графике значение корреляции (по горизонтали) и доли площади (по вертикали) (рис. 3).

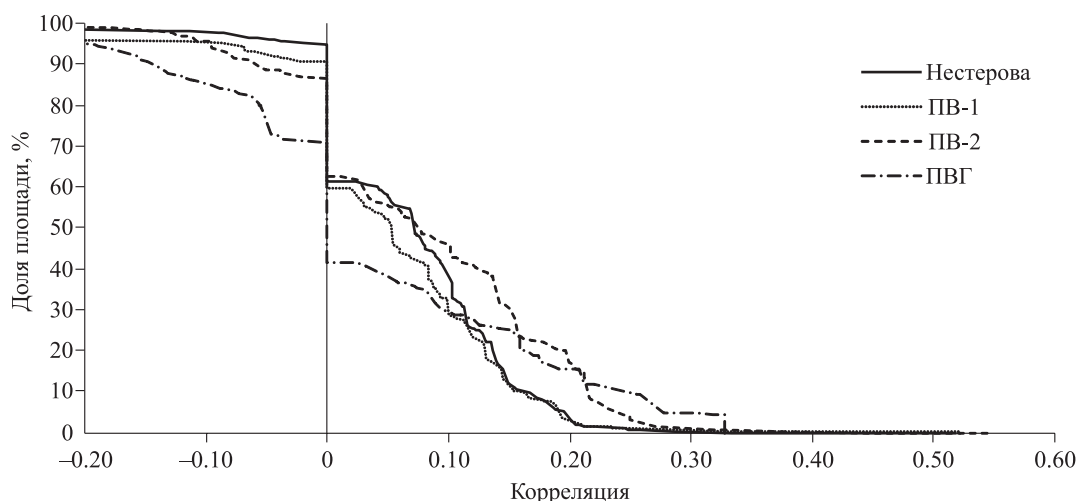


Рис. 3. Сравнительный график взаимосвязи корреляции между соответствующими показателями пожарной опасности в лесах и частотой лесных пожаров и долей площади лесных районов.

Значения площади участков с разной корреляцией предварительно отсортированы по ее убыванию. По графику визуально видно насколько отличается качество каждой методики (чем выше – тем лучше), а также для какой части территории методики полностью не применимы (где график левее нуля). Такой график также показывает, для какой доли площади корреляция будет не менее заданной. В частности, если рассматривать территорию России в целом, то методика ПВГ может использоваться только на 41 % территории, ПВ-1 – на 59 %, Нестерова – на 61 %, а ПВ-2 – на 63 %.

При принятии решения о совершенствовании методик учета пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды следует учитывать, что дальнейшие попытки корректировать алгоритм снижения индекса на основе количества осадков, выпавших на метеостанции, – тупиковые. Нужно либо радикально увеличивать число метеостанций, либо переходить на учет осадков по территории лесов (например, на основе космических данных или данных метеорологических радаров).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предварительный анализ формы распределения значений индексов пожарной опасности в лесах и распределения частоты лесных пожаров показал существенное отличие от закона нормального распределения. Преобразование исходных данных методом логарифмирования позволяет использовать для анализа взаимосвязи между погодными индексами и горимостью коэффициент корреляции Пирсона. Способ представления результата в виде комбинации интерактивной карты и графика взаимосвязи корреляции и площади анализируемой территории может быть использован для совершенствования методов оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды, в том числе для разработки региональных методик пожарной опасности.

При сравнении площадей, где соответствующая методика показала лучшие результаты, получились следующие значения: методика ПВГ – 30 % территории, на втором месте методика ПВ-2 – 26 %, далее следует ПВ-1 – 20 % и Нестерова – 13 %. На остальной территории (11 %) результат не является статистически значимым.

*Работа выполнена в рамках государственного задания на проведение прикладных научных исследований, утвержденного Приказом Рослесхоза от 23.12.2021 № 975.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Волокитина А. В., Софронова Т. М., Корец М. А. Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесу: Усовершенствованная методика составления // Сиб. лесн. журн. 2017. № 2. С. 52–61.
- Вонский С. М., Жданко В. А., Корбут В. И., Семенов М. М., Тетюшева Л. В., Завгородняя Л. С. Определение природной пожарной опасности в лесу: Метод. рекоменд. Л.: ЛенНИИЛХ, 1981. 51 с.
- Губенко И. М., Рубинштейн К. Г. Сравнительный анализ методов расчета индексов пожарной опасности // Тр. гидрометеорологического науч.-иссл. центра Российской Федерации. 2012. Вып. 347. С. 207–222.
- Иванов В. А., Горошко А. А., Бакшеева Е. О., Головина А. Н., Морозов А. С. Региональные шкалы пожарной опасности по условиям погоды для лесов Амурской области // Хвойные бореал. зоны. 2020. Т. 38. № 1-2. С. 34–42.
- 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)
- Ковалев Н. А., Лузян Е. А., Балашов И. В., Барталев С. А., Бурцев М. А., Еришов Д. В., Кривошеев Н. П., Мазуров А. А. ИСДМ-Рослесхоз: 15 лет эксплуатации и развития // Соврем. пробл. дистанцион. зондирования Земли из космоса. 2020. Т. 17. № 7. С. 283–291.
- Котельников Р. В., Лузян Е. А. Особенности дистанционно оцениваемых распределений площадей лесных пожаров для территорий с различным уровнем пожарной охраны // Соврем. пробл. дистанцион. зондирования Земли из космоса. 2022. Т. 19. № 4. С. 75–87.
- Плотникова А. С. Шкала природной пожарной опасности лесных экосистем И. С. Мелехова. Обзор современных российских методических подходов // Вопр. лесн. науки. 2021. Т. 4. № 2. Статья № 83. 13 с.
- 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». М.: Рослесхоз, 2011.
- Софронова Т. М., Волокитина А. В., Софронов М. А. Совершенствование оценки пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья. Красноярск: Краснояр. гос. пед. ун-т им. В. П. Астафьева; Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2007. 240 с.
- Сравнение методик оценки пожарной опасности в лесах, в зависимости от условий погоды. Красноярск: Центр лесной пирологии, развития технологий охраны лесных экосистем, защиты и воспроизводства лесов – филиал ВНИИЛМ, 2023. <https://firescience.ru/project/kpo/thebestkpo.html>
- Srock A. F., Charney J. J., Potter B. E., Goodrick S. L. The hot-dry-windy index: A new fire weather index // Atmosphere. 2018. V. 9. N. 7. Article 279. 11 p.
- Torres-Rojo J. M. Índice para la estimación de ocurrencia de incendios forestales en superficies extensas (Index for the estimation of the occurrence of forest fires in large areas) // Revista Chapingo. Ser. Ciencias Forestales y del Ambiente. 2020. V. 26. N. 3. P. 315–331.

*Viegas D., Bovio G., Ferreira A., Nosenzo A., Sol B. Comparative study of various methods of fire danger evaluation in Southern Europe // Int. J. Wildland Fire. 1999. V. 9. Iss. 4. P. 235–246.*

*Ziel R. H., Bieniek P. A., Bhatt U. S., Strader H., Rupp T. S., York A. A Comparison of fire weather indices with MODIS fire days for the natural regions of Alaska // Forests. 2020. V. 11. N. 5. Article 516. 18 p.*

## **COMPARATIVE ESTIMATION OF THE QUALITY OF FIRE DANGER INDEXES IN FORESTS**

**R. V. Kotelnikov, A. N. Chugaev**

*The Center of Forest Pyrology, Development of Forest Ecosystem Conservation, Forest Protection and Regeneration Technologies – Branch of the All-Russian Scientific-Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry Krupskaya str., 42, Krasnoyarsk, 660062 Russian Federation*

---

E-mail: center@firescience.ru, chugaevaa@firescience.ru

Weather conditions are one of the important factors, which affects forest fire danger. Taking into consideration different methodical approaches (in particular, to accounting for precipitation) and differences between forestry and natural climatic conditions, also different density the weather stations, the values calculated according by these methods differ significantly in different forest areas. In order to correctly estimate the methods quality and correctly interpret the results which were obtained, it was developed special toolkit allowing to do the necessary preliminary processing and data visualization in the form of an interactive panel. Existing approaches were based on linear Pearson's correlation coefficient. At the same time this criterion can be applicable in case when the source data are distributed according to normal distribution law. ISDM-Rosleskhoz formed Big Data, which show it is not true. The new approach differs in that the source data are previously transform logarithm method, which increases accuracy of the obtained estimations. The developed toolkit allowed to conduct comparative analysis of the main methods, which are used in Russia. Method of humidity indicator taking into account hygroscopicity (PVG) shows the best results – (30 %), method of humidity indicator 2 (PV-2) is in the second place (26 %), method of humidity indicator 1 (PV-1) is located in the third place (20 %), Nesterov's method is in the last place (13 %). The number of forest fires doesn't allow to obtain reliable result in the other area (11 %). The prepared interactive map by the authors in combination with a dynamic graph allows to visualize comparative results to the forest areas level, inside subjects of the Russian Federation thereby simplifying interpretation the obtain results. The total results can be used for improvement forest fire danger scales depending on weather conditions.

**Keywords:** *forest fire frequency, correlation, interactive panel.*

**How to cite:** *Kotelnikov R. V., Chugaev A. N. Comparative estimation of the quality of fire danger indexes in forests // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 32–38 (in Russian with English abstract and references).*



УДК 630.431

## АКТУАЛИЗАЦИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ШКАЛ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ ПО ЛЕСНЫМ РАЙОНАМ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

В. А. Иванов<sup>1,2</sup>, Г. А. Иванова<sup>1</sup>, Е. О. Бакшеева<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН 660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева 660037, Красноярск, просп. имени газеты «Красноярский рабочий», 31.

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

Поступила в редакцию 24.03.2023 г.

В связи с интенсивным промышленным освоением территории Красноярского края произошли значительные перемены в растительном покрове и увеличилось количество источников огня. Вследствие изменения климата также возросло количество молниевых разрядов, являющихся основной причиной лесных пожаров на малоосвоенных северных территориях края. Разработка региональной шкалы пожарной опасности по условиям погоды вызвана тем, что существующая единая федеральная шкала пожарной опасности по условиям погоды недостаточно точно характеризует пожарную опасность лесных участков региона и не позволяет рационально регламентировать работы лесопожарных служб и маневрировать силами лесничеств и авиаотделений. На основе данных о количестве и площади лесных пожаров и о причинах их возникновения нами выполнены обобщения и анализ приуроченности пожаров и причин возникновения возгораний по лесным районам Красноярского края. Установлено, что в современных условиях территория края характеризуется увеличением пожарной активности. Ввиду сложности рельефа, разнообразия климатических и лесорастительных условий для каждого лесного района нами были построены региональные шкалы пожарной опасности по условиям погоды и проведено их сравнение с единой федеральной шкалой. Использование разработанных нами шкал пожарной опасности для лесных районов Красноярского края позволит своевременно проводить обнаружение и тушение лесных пожаров.

**Ключевые слова:** лесные пожары, горимость, пожароопасность, патрулирование.

DOI: 10.15372/SJFS20230605

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время в России отмечается рост числа природных пожаров, пройденная ими площадь лесов достигает миллионы гектаров. Ежегодно из средств федерального бюджета выделяется более 8 млрд руб. на охрану лесов от пожаров. В 2019 г. ущерб от них превысил 1345 млн руб., что нивелирует все усилия по сохранению природной среды. Леса, подвергшиеся воздействию огня, теряют устойчивость к повторным пожарам, становятся более уязвимыми к внешним негативным факторам.

С изменением климата ожидается увеличение частоты пожаров (Kasischke et al., 1995;

Goldammer, Price, 1998). В зоне бореальных лесов прогнозируется, что пожары могут стать более обширными и увеличить уровень воздействия на экосистему (Weber, Flannigan, 1997). В то же время прогнозировать изменения региональных и локальных пожарных режимов затруднительно, так как они могут быть уравнены вероятными изменениями в источниках огня, например увеличение грозовой активности, и в способах пожаротушения (Flannigan, Wotton, 1991).

Установлено, что пожарная опасность леса определяется наличием горючих материалов, их видом, количеством и погодными условиями, определяющими их высыхание. Связь возникно-

вения лесных пожаров с засушливыми погодными условиями общеизвестна, она учитывалась с 30–40-х годов прошлого столетия. Для оценки пожарной опасности был разработан и до настоящего времени применяется комплексный показатель горимости В. Г. Нестерова (1949), по значению которого им были выделены классы пожарной опасности, характеризующие состояние горючих материалов, но не учитывающие источники загораний. Вместе с тем предложенная шкала не отражала влияние источников огня, а также влияние растительности и особенностей климата и влияние ветра (Курбатский, 1957). В последующие десятилетия предлагались различные пути улучшения методики определения пожарной опасности (Жданко, 1960; Вонский и др., 1975). Основным недостатком предлагаемых методик и предложений по их улучшению, по мнению Н. П. Курбатского (1963), в том, что авторы пытаются единой шкалой учесть многообразие условий на территории России. В связи с этим им были разработаны принципы и методика составления региональных шкал пожарной опасности (Курбатский, 1963), которые были применены при составлении местных шкал для лесов Красноярского края (Валендик, 1963), Иркутской области (Сныткин, 1963) и Забайкалья (Фуряев, 1963).

В настоящее время для прогноза возникновения лесных пожаров продолжают использовать комплексный показатель пожарной опасности в лесах по условиям погоды В. Г. Нестерова (1949). В зависимости от его значений устанавливается класс пожарной опасности по условиям погоды, который регламентирует кратность наземного и авиационного патрулирования, что определяет своевременность обнаружения пожаров (Приказ ..., 2014, 2016). В то же время федеральная шкала по условиям погоды не учитывает все природные особенности региона, но лишь в некоторых регионах используются местные шкалы. Например, региональные шкалы пожарной опасности по условиям погоды, разработанные ДальНИИЛХ (Стародумов, 1966), используются в Камчатском, Приморском и Хабаровском краях. Также создана региональная шкала пожарной опасности по условиям погоды для лесов Амурской области (Иванов и др., 2020).

На территории Красноярского края за прошедший 60-летний период произошли значительные перемены в растительном покрове в связи с интенсивным промышленным освоением лесной территории, увеличилось количество источников огня, обусловленное ростом насе-

ления и рекреационной нагрузки. Вследствие изменения климата также возросло количество молниевых разрядов, являющихся основной причиной лесных пожаров на малоосвоенных северных территориях региона (Иванов, Иванова, 2010). Разработка региональной шкалы пожарной опасности по условиям погоды вызвана тем, что существующая единая федеральная шкала недостаточно точно характеризует пожарную опасность лесных участков края и не позволяет рационально регламентировать работы лесопожарных служб и маневрировать силами лесничеств и авиаотделений.

В данной статье представлены разработанные нами региональные шкалы пожарной опасности по условиям погоды для лесных районов Красноярского края.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для анализа горимости лесов Красноярского края и составления региональной шкалы по условиям погоды использованы данные о лесных пожарах за 2012–2021 гг. по открытым данным Рослесхоза (Информационная система..., 2023), а также сведения о погоде.

Региональная шкала пожарной опасности для лесных районов разрабатывалась по методике Н. П. Курбатского (1963) в три этапа. Первоначально проведен анализ горимости лесов по лесным районам с учетом каждого лесничества. Затем были проанализированы данные о лесных пожарах и материалы метеорологических наблюдений, применительно к территории лесного района и для каждого района разработана своя региональная шкала.

Для оценки фактической горимости лесной и нелесной территорий за анализируемый период принята шкала оценки степени горимости лесов, разработанная Институтом «Росгипролес» (табл. 1).

**Таблица 1.** Шкала оценки степени горимости лесов

Средняя абсолютная горимость		Относительная горимость (степень)
по числу случаев пожаров на 1 млн га, шт./год	по пройденной огнем площади на 1 тыс. га, га/год	
Более 201	Более 1.0	Высокая
101–200	0.51–1.0	Выше средней
51–100	0.21–0.5	Средняя
5–50	0.06–0.2	Ниже средней
Менее 5	До 0.05	Низкая

Для разработки шкал использованы открытые данные Рослесхоза (Информационная система..., 2023) о пожарах по лесным районам и сведения о погоде в течение пожароопасного сезона на метеорологических станциях, расположенных на территориях этих районов. При анализе горимости лесов для каждого лесного района были построены точечные диаграммы распределения пожаров по датам пожароопасного сезона и комплексному показателю В. Г. Нестерова (1949) на эту дату за последние 10 лет. Учитывая динамику количества пожаров в течение фактического пожароопасного сезона, его разделили на периоды. Границы пожароопасных периодов в сезоне определены путем анализа точечных диаграмм по признакам прекращения пожаров или снижению их числа (Валендик, 1963). Для каждого периода составлена своя шкала пожарной опасности для лесничеств и авиаотделений, при этом было принято V классов пожарной опасности. Границы классов пожарной опасности по условиям погоды определены согласно рекомендаций Н. П. Курбатского (1963): на I класс приходится 5 % пожаров, на II – 15 %, на III – 35 %, на IV и V классы – 45 % (20 и 25 % соответственно). Диаграмма распределения лесных пожаров в течение пожароопасного сезона для Алтае-Саянского горно-таежного района приведена в качестве примера на рис. 1.

Расчетную кратность авиапатрулирования вычисляли по методике, разработанной Центром лесной пирологии, развития технологий охраны лесных экосистем, защиты и воспроизводства лесов – филиала ВНИИЛМ (Расчетная и назначенная кратность..., 2023). Территория Красноярского края пересекает четыре лесорастительные зоны и включает 8 лесных районов. Ввиду сложности рельефа, разнообразия климатических и лесорастительных условий для каждого лесного района нами были построены региональные шкалы по методике Н. П. Курбатского (1963) и проведено их сравнение с единой федеральной шкалой и шкалой пожарной опасности Э. Н. Валендика (1963).

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

На территории края за период 2000–2022 гг. зарегистрировано 26 577 пожаров растительности (Информационная система..., 2023) на площади свыше 4784 тыс. га. Площадь лесных пожаров в крае варьировала от 6 тыс. га в 2009 г. до 1130.7 тыс. га в 2019 г. (рис. 2).

За последние десятилетия в связи с изменением климата и ростом индустриализации лесозаготовок число пожаров увеличилось, но не так значительно, как площади пожаров, которые

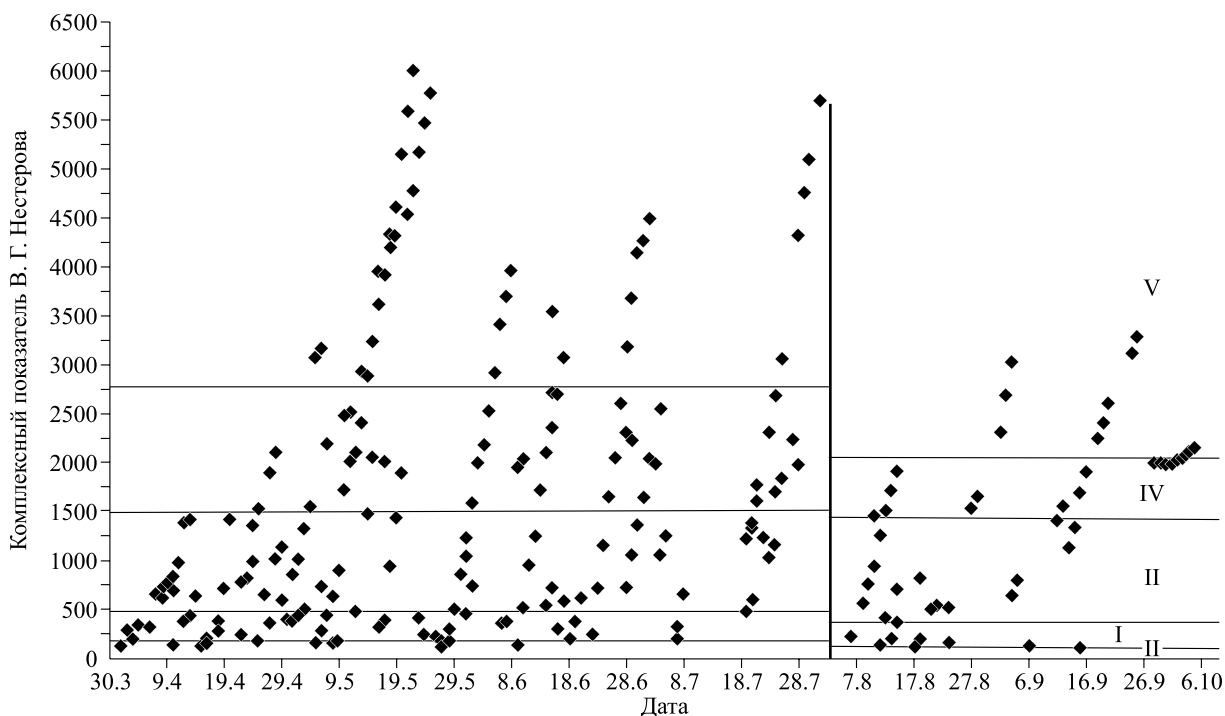


Рис. 1. Распределение лесных пожаров по датам и комплексному показателю для Алтае-Саянского горно-таежного района с границами классов пожарной опасности.

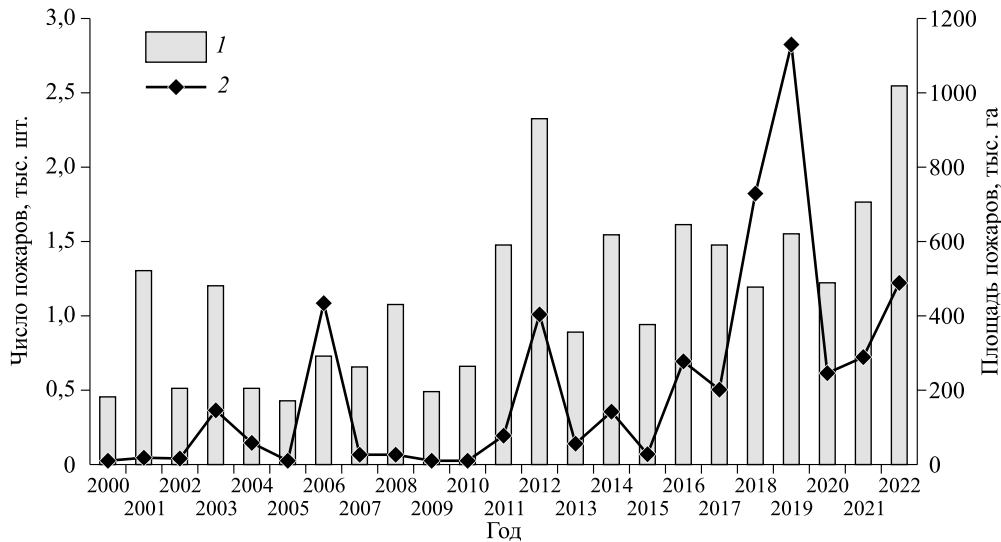


Рис. 2. Число (1) и площадь (2) лесных пожаров на территории Красноярского края.

выросли более чем в 2 раза. Максимумы числа пожаров в отдельные годы обусловлены устойчивыми продолжительными антициклонами с сухой и ветреной погодой в отдельные пожароопасные сезоны и пожароопасные периоды (Валендик, 1990; Пономарев и др., 2018; Ponomarev et al., 2018).

Сравнительный анализ средней ежегодной лесной площади, пройденной пожарами за длительный период 2000–2022 гг., позволил выявить тенденцию на ее увеличение (рис. 3).

Выявлен существенный рост средней площади пожара. Так, за последние 10 лет она увеличилась более чем в 2 раза. В экстремальные пожароопасные сезоны 2006, 2018 и 2019 гг. средняя площадь одного пожара достигала 600 га и более.

Такое существенное увеличение средней площади пожара свидетельствует об ухудшении состояния всей системы обнаружения и тушения пожаров.

На возникновение и развитие пожаров влияют продолжительность и сроки начала пожароопасного сезона. Продолжительность пожароопасного сезона возрастает с севера на юг от 88 до 187 дней и зависит от географической широты. Характерны три типа пожароопасных сезонов: короткий непрерывный – для северной и средней тайги; продолжительный – для южной тайги; продолжительный двойной с короткими весенними и осенними максимумами горимости – для лесостепных и южных горных районов.

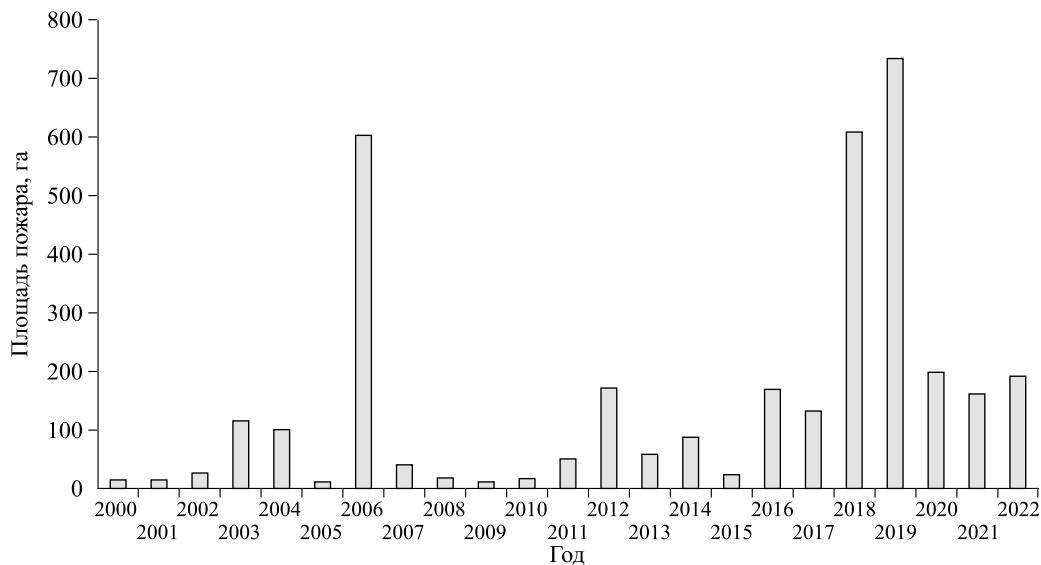


Рис. 3. Средняя площадь лесного пожара за 2000–2022 гг.

**Таблица 2.** Горимость лесов по лесорастительным зонам и лесным районам Красноярского края (2000–2022 гг.)

Лесной район	Класс пожарной опасности	Количество пожаров, % от общего	Площадь пожаров, % от общей	Средняя площадь пожара, га	Частота пожаров, шт./млн га	Относительная площадь пожаров, га/тыс. га	Фактическая горимость	Число пожаров: антропогенные / природные
Среднесибирский притундровых лесов и редкостойной тайги	1.9	0.2	0.6	320	–	–	–	15/80
Среднесибирский плоскогорный таежный	2.8	9.6	30	952.4	2.5	2.4	Высокая	3/93
Западно-Сибирский среднетаежный равнинный	3.2	8.1	3.2	121,5	8.2	1.0	Выше средней	18/77
Нижнеангарский таежный район	2.6	42.6	24.2	172.1	34.2	6.0	Высокая	38/46
Западно-Сибирский южно-таежный равнинный	3.2	2.1	0.1	17.5	29.2	0.4	Средняя	64/31
Среднесибирский подтаежно-лесостепной	3.3	15.2	11.5	22.9	42.1	0.96	Выше средней	74/3
Алтае-Саянский горно-таежный	3.3	17.7	1.4	24.7	21.8	0.54	То же	60/22
Алтае-Саянский горно-лесостепной	2.6	4.5	29.0	19.8	161.3	3.4	Высокая	66/13

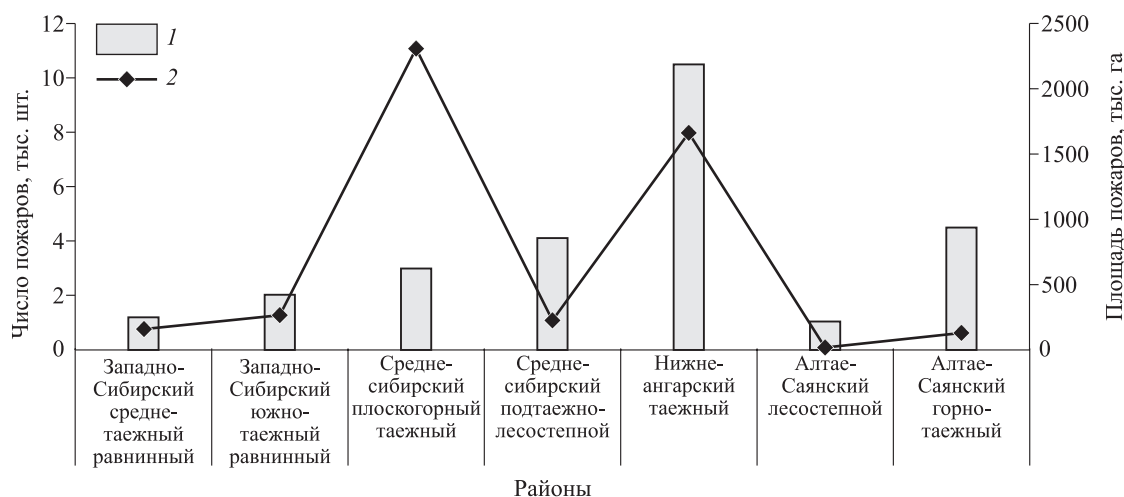
Основными причинами возникновения лесных пожаров в южных лесных районах являются антропогенные источники огня, в число которых включены пожары не только по вине местного населения, но и связанные с его хозяйственной или иной деятельностью. Пожары от гроз составляют до 93.1 % на севере в таежной зоне и менее 3 % в лесостепной зоне (табл. 2).

Анализ распределения лесных пожаров на охраняемой территории за 2000–2021 гг. в зависимости от лесорастительной зоны показал, что

они распределены по территории неравномерно (табл. 2). Выделенные лесные районы также различаются по горимости (рис. 4).

Наибольшее количество пожаров приходится на Нижнеангарский таежный район, а наибольшая площадь, пройденная пожарами, – на Среднесибирский плоскогорный таежный район.

Основное количество пожаров приходится на таежную зону (62.4 % по числу и 57.5 % по площади), где произрастает основная часть сосновых лесов и находится большое количество



**Рис. 4.** Распределение числа (1) и площади (2) пожаров по лесным районам за 2000–2022 гг.

вырубок, быстро достигающих состояния пожарной зрелости. Преобладают низовые пожары разной интенсивности.

**Зона притундровых лесов и редкостойной тайги** включает Среднесибирский район притундровых лесов и редкостойной тайги, охватывает северотаежные леса и полосу северных редколесий. Повсеместно распространена многолетняя или длительно-сезонная мерзлота.

Преобладание в напочвенном покрове зеленых мхов и лишайников, которые при разреженном или отсутствующем пологом древостоя в засуху быстро достигают состояния пожарной зрелости, и слабая пирологическая расчлененность территории способствуют возникновению пожаров в засушливый период и распространению их на большие территории. В то же время пожары относительно редкие. Этому способствует короткий фактический пожароопасный сезон (1–2 мес). Около 80 % пожаров возникает от гроз. Несмотря на то что на зону приходится всего 0.2 % всех пожаров и 0.6 % их площадей, средняя площадь пожара составляет более 300 га.

**Таежная зона** включает четыре лесных района: Среднесибирский плоскогорный таежный, Западно-Сибирский среднетаежный равнинный, Нижнеангарский таежный и Западно-Сибирский южно-таежный равнинный районы. На зону приходится 62.4 % от числа всех пожаров и 57.5 % от площади всех пожаров.

Территории Среднесибирского плоскогорного таежного и Западно-Сибирского среднетаежного равнинного районов расположены в подзоне северной и средней тайги. В зоне распространены елово-сосновые и сосново-лиственничные леса. В левобережной части доминируют сфагновые болота. Сравнительно короткий фактический пожароопасный сезон (до 3 мес). Максимум пожаров приходится на июнь–июль. На долю пожаров от гроз на севере зоны приходится более 93 %, а на юге – 46 %. Преобладают низовые пожары, беглые в весенний период и устойчивые летом.

К подзоне южной тайги отнесены Нижнеангарский таежный район и Западно-Сибирский южно-таежный равнинный район. Длительность фактического пожароопасного сезона здесь увеличивается до 110–120 дней. В этих районах возникает более 44 % всех пожаров региона. Преобладают низовые пожары разной интенсивности, беглые весной и устойчивые летом. Из-за сложной морфоструктуры древостоев возможен переход низовых пожаров в верховые. На долю

пожаров от гроз приходится до половины всех пожаров.

**Лесостепная зона** включает Среднесибирский подтаежно-лесостепной район. Резко выражена зависимость возникновения пожаров с вегетацией растительного покрова. Возрастание продолжительности фактического пожароопасного сезона (более 4 мес), наличие весеннего и редко летнего пиков горимости. Проблему природных пожаров в лесостепных районах также создают степные пожары, которые возникают уже в конце марта – начале апреля. В мае их число снижается, но большинство пожаров переходит в лесные массивы. Основной причиной пожаров являются антропогенные источники огня (74 %). Практически не возникают пожары от молний (до 3%). 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. Пожары возникают с апреля по август, максимум приходится на май. Пожары низовые, но при наличии условий часто переходят в верховые. Основное количество пожаров возникает по вине местного населения (до 60 %). На долю пожаров от гроз приходится 22 %.

В степной части зоны преобладают светлохвойные насаждения. Пожары возникают с марта по август, максимум приходится на май–июнь. Пожары, возникающие по вине населения, составляют 66 % от всех пожаров, а от гроз – 13 %.

Крупные лесные пожары, на долю которых приходится до 90 % выгоревшей площади, возникают на фоне массовых пожаров в экстремальные пожароопасные сезоны. В 2018–2020 гг. сложилась экстремальная ситуация с пожарами на севере Красноярского края. Основное количество крупных и катастрофических пожаров действовало в зоне контроля, к которой относятся труднодоступные и удаленные лесные территории и где тушение огня экономически нецелесообразно, если пожары не угрожают населенным пунктам или объектам экономики, т. е. это – неохранные территории и на их долю в Красноярском крае приходится 76.3 % земель лесного фонда. К зоне контроля отнесены территории Среднесибирского района притундровых лесов и редкостойной тайги и значительная часть Среднесибирского плоскогорного таежного района. Как показала практика последних лет, именно на эти территории приходится большая

**Таблица 3.** Напряженность пожароопасного сезона по лесным районам (2018–2022 гг.), %

Лесной район	Год				
	2018	2019	2020	2021	2022
Среднесибирский плоскогорный таежный	12.1	23.3	27.7	8.5	7.6
Западно-Сибирский среднетаежный равнинный	23.4	9.0	16.6	11.6	12.7
Западно-Сибирский южно-таежный равнинный	38.1	25.1	23.7	23.5	20.2
Нижнеангарский таежный	59.9	48.9	39.2	39.9	24.2
Среднесибирский подтаежно-лесостепной	29.1	28.2	16.5	21.2	22.1
Алтае-Саянский горно-лесостепной	21.4	14.0	25.2	16.3	30.9
Алтае-Саянский горно-таежный	35.4	37.7	28.3	17.2	48.1

часть катастрофических лесных пожаров. Средняя площадь пожара в Среднесибирском плоскогорном таежном районе составляет 952 га, а в Среднесибирском районе притундровых лесов и редкостойной тайги – 320 га.

Также высокий уровень пожарной опасности зафиксирован на территории Нижнеангарского таежного района (табл. 2), где проводятся лесозаготовки в промышленных масштабах и средняя площадь пожара составляет 172 га. Более 75 % пожаров зарегистрированы в мае–июле. В марте они случаются редко – не более 0.1 %, в апреле – до 11 %, в мае возникает наибольшее количество пожаров – 33 %, в числе которых множественные пожары от сельскохозяйственных палов в лесостепной зоне. В летний период фиксируется до 24 % пожаров в июне, в июле – 18 %, в августе – 10 %. Около 3.5 % возникает в осенний период (с сентября по октябрь).

Мы рассмотрели напряженность пожароопасных сезонов по лесным районам за последние 5 лет (табл. 3).

Под напряженностью пожароопасного сезона понимается количество дней с III–V КПО, в процентах от общей продолжительности пожароопасного сезона.

Высокая напряженность пожароопасного сезона наблюдалась ежегодно в Нижнеангарском таежном и Алтае-Саянском горно-таежном районах. В 2018 и 2019 гг. повышенная напряженность наблюдалась почти во всех лесных районах. В 2022 г. в лесных районах она даже была ниже, чем в среднем за 2018–2021 гг.

В целях научно-технического развития Российской Федерации Указом Президента России от 15.06.2022 № 382 (2022) предусмотрено сокращение площади лесных пожаров в Российской Федерации в период с 2022 по 2030 г. не менее чем на 50 % относительно уровня 2021 г.

Указ Президента (2022) предполагает введение критерия эффективности (норматив горимости) принимаемых мер по охране лесов от пожа-

ров, показатель которого не должен превышать среднее значение площади лесных пожаров за 5 лет (2017–2021 гг.), умноженное на специальный понижающий коэффициент (Постановление..., 2022).

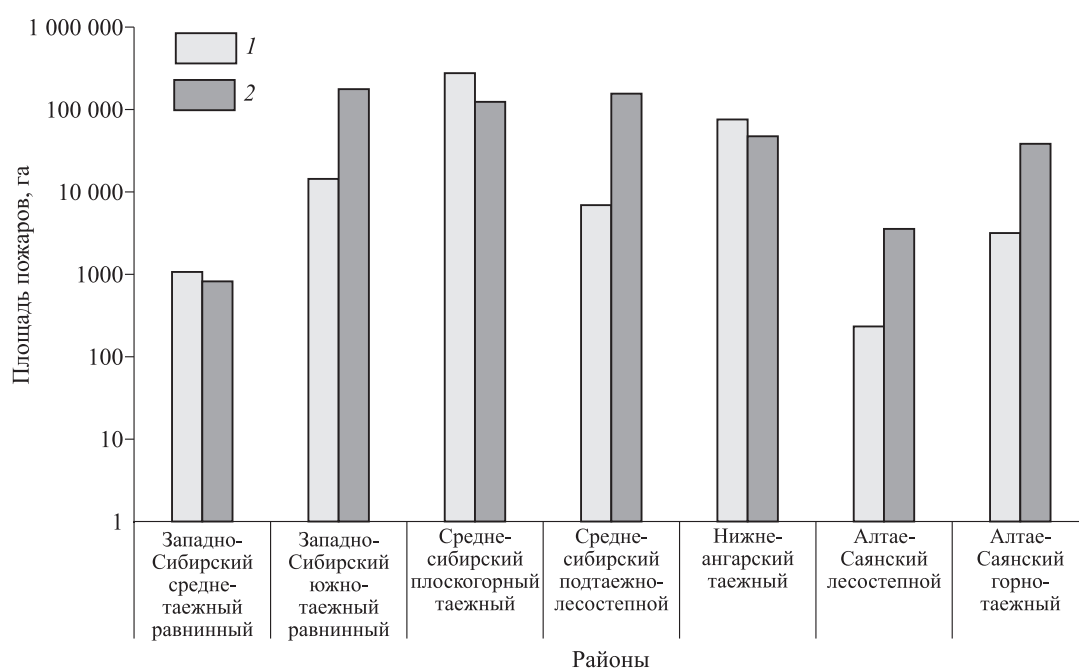
Нами рассчитан критерий эффективности и сравнен с действительной площадью, пройденной пожарами (рис. 5).

Согласно расчетам, в 2022 г. площадь лесных пожаров на территории края не должна была превысить 386.8 тыс. га, а фактически составила более 485 тыс. га. Но при этом такие лесные районы, как Нижнеангарский таежный и Среднесибирский плоскогорный таежный, имеющие высокую горимость, не превысили значения площади пожаров по критерию эффективности. В большинстве же районов критерий эффективности был превышен из-за весенних степных пожаров. Резкое увеличение горимости лесов в последние десятилетия вызвано рядом причин, в том числе неблагоприятными погодными условиями в эти годы, увеличением зоны контроля, недостаточной организацией охраны лесов и прежде всего отсутствием системы прогнозирования опасности по условиям погоды, позволяющей своевременно обнаруживать пожары и тушить их на малых площадях.

Одной из мер по совершенствованию системы прогнозирования и сокращению площадей пожаров, является переход на местные шкалы пожарной опасности, учитывающие лесорастительные и климатические условия регионов.

Ввиду сложности рельефа, разнообразия климатических и лесорастительных условий на территории края нами были построены региональные шкалы пожарной опасности по условиям погоды по методике Н. П. Курбатского (1963) (табл. 4).

На территории Красноярского края вблизи населенных пунктов на вырубках и свежих гарях в основном распространены травяные типы леса. В весенний период в них возникают пожа-



**Рис. 5.** Соотношение площади по нормативу и действительной площади, пройденной лесными пожарами в 2022 г. по лесным районам Красноярского края.

1 – критерий эффективности; 2 – площадь пожаров 2022 г.

**Таблица 4.** Шкалы пожарной опасности по условиям погоды для лесных районов Красноярского края

Период пожароопасного сезона	Класс пожарной опасности				
	I	II	III	IV	V
Западно-Сибирский среднетаежный равнинный район					
Весенне-летний	0–100	101–300	301–900	901–1800	Более 1801
Западно-Сибирский южно-таежный равнинный район					
Весенний	0–200	201–400	401–1200	1201–1800	Более 1801
Летне-осенний (переход на летне-осеннюю шкалу 31 мая)	0–400	401–900	901–1800	1801–2700	Более 2701
Среднесибирский плоскогорный таежный район					
Летне-осенний	0–200	201–600	601–2200	2201–3900	Более 3901
Среднесибирский подтаежно-лесостепной район					
Весенний	0–300	301–800	801–1700	1701–3300	Более 3301
Летний (переход на летнюю шкалу 31 мая)	0–500	501–1000	1001–2200	2201–3600	Более 3601
Осенний (переход на осеннюю шкалу 31 августа)	0–1000	1001–1500	1501–3100	3101–3800	Более 3801
Нижнеангарский таежный район					
Весенний	0–200	201–600	601–2200	2201–5000	более 5001
Летний (переход на летнюю шкалу 31 мая)	0–400	401–1300	1301–4300	4301–7200	Более 7201
Осенний (переход на осеннюю шкалу 25 августа)	0–800	801–1900	1901–4000	4001–5700	Более 5701
Алтае-Саянский горно-лесостепной					
Весенне-летний	0–300	301–500	501–1300	1301–2000	Более 2001
Летне-осенний (переход на летне-осеннюю шкалу 14 июля)	0–200	201–400	401–900	901–1600	Более 1601
Алтае-Саянский горно-таежный район					
Весенне-летний	0–200	201–400	401–1400	1401–2100	Более 2101
Летне-осенний (переход на летне-осеннюю шкалу 4 августа)	0–300	301–500	501–1500	1501–2800	Более 2801



**Таблица 5.** Распределение дней пожароопасного сезона по классам пожарной опасности и расчетная кратность патрулирования

Класс пожарной опасности					Всего дней II-V КПО	Расчетная кратность патрулирования
I	II	III	IV	V		
Западно-Сибирский среднетаежный равнинный район						
$\frac{10}{23}$	$\frac{13}{20}$	$\frac{19}{30}$	$\frac{12}{11}$	$\frac{36}{6}$	$\frac{80}{67}$	$\frac{1.56}{1.1}$
Западно-Сибирский южно-таежный равнинный район						
$\frac{45}{42}$	$\frac{28}{44}$	$\frac{35}{57}$	$\frac{18}{16}$	$\frac{33}{0}$	$\frac{114}{117}$	$\frac{1.32}{0.95}$
Среднесибирский плоскогорный таежный район						
$\frac{38}{47}$	$\frac{20}{22}$	$\frac{27}{28}$	$\frac{10}{14}$	$\frac{18}{2}$	$\frac{75}{66}$	$\frac{1.24}{1.07}$
Среднесибирский подтаежно-лесостепной район						
$\frac{84}{62}$	$\frac{36}{58}$	$\frac{33}{51}$	$\frac{15}{10}$	$\frac{13}{0}$	$\frac{97}{119}$	$\frac{1.1}{0.84}$
Нижнеангарский таежный район						
$\frac{39}{35}$	$\frac{45}{40}$	$\frac{67}{81}$	$\frac{19}{14}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{132}{135}$	$\frac{0.98}{0.95}$
Алтае-Саянский горно-лесостепной						
$\frac{33}{39}$	$\frac{21}{60}$	$\frac{45}{84}$	$\frac{40}{12}$	$\frac{56}{0}$	$\frac{162}{156}$	$\frac{1.52}{0.88}$
Алтае-Саянский горно-таежный район						
$\frac{46}{56}$	$\frac{29}{62}$	$\frac{61}{58}$	$\frac{22}{14}$	$\frac{32}{0}$	$\frac{134}{134}$	$\frac{1.27}{0.87}$

*Примечание.* В числителе – по региональной шкале, в знаменателе – по действующей федеральной.

ры практически сразу после схода снежного покрова при низком комплексном показателе. При этом действующая шкала занижает пожарную опасность для этого периода.

Разработанные нами региональные шкалы пожарной опасности для лесных районов мы сравнили с федеральной шкалой, применяемой в настоящее время, по распределению дней пожароопасного сезона по классам пожарной опасности и расчетной кратности патрулирования (табл. 5).

При сравнении региональных шкал с действующей федеральной шкалой можно отметить, что число дней со II, III, IV и V классами в действующей шкале меньше, чем в предлагаемой шкале. Это указывает на то, что используемая в настоящее время шкала значительно занижает пожарную опасность. Для лесных районов была рассчитана кратность патрулирования по вновь полученной шкале и по действующей в настоящее время.

Сравнение разработанных нами региональных шкал по лесным районам с ранее представленными Э. Н. Валендиком (1963) для Красноярского края и Тувинской АССР показало, что в настоящее время лесные пожары возникают при

более низких значениях комплексного показателя, возросла продолжительность пожароопасного сезона, увеличилось число пожароопасных периодов. Например, в Среднесибирском плоскогорном таежном районе, бывшем Тунгусском сосново-лиственничном лесопожарном районе (по Э. Н. Валендику, 1963), пожары стали возникать в осенний период, а ранее они отмечались только в летний.

В Нижнеангарском таежном районе в 60-х годах прошлого столетия пожары регистрировались с мая по август, а в настоящее время они возникают в середине апреля и заканчиваются в конце сентября. Это изменение в сроках наступления пожароопасного сезона и его продолжительности связано с трансформацией климата, ростом антропогенной нагрузки и, как следствие, со значительной горимостью лесов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В связи с изменением климата и увеличением источников огня, как антропогенных, так и природных, актуальна разработка региональных шкал пожарной опасности, учитывающих ле-

сорастительные и метеорологические условия лесных районов. Проведенные нами исследования показали, что используемая в настоящее время федеральная шкала пожароопасности по условиям погоды значительно занижает степень пожарной опасности. Расчетная кратность патрулирования по разработанной нами региональной шкале пожарной опасности существенно увеличивается. Но несмотря на увеличение финансирования на патрулирование охраняемой лесной территории, благодаря своевременному обнаружению очагов горения возможно снижение затрат на тушение лесных пожаров.

Таким образом, актуализация и использование разработанных нами региональных шкал пожароопасности для лесных районов Красноярского края позволит проводить своевременное обнаружение и тушение лесных пожаров и, следовательно, снизить возможный ущерб от лесных пожаров.

*Работа выполнена в рамках государственного задания ИЛ СО РАН КНЦ СО РАН «№ FWES-2021-0010, Рег. НИОКТР № 121030900181-4.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Валендик Э. Н. Шкалы пожарной опасности для лесов Красноярского края и Тувинской АССР // Лесные пожары и борьба с ними. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 31–57.
- 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., Загородняя Л. С. Составление и применение местных шкал пожарной опасности в лесу: Метод. указ. Л.: ЛенНИИЛХ, 1975. 60 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., Горошко А. А., Бакшеева Е. О., Головина А. Н., Морозов А. С. Региональные шкалы пожарной опасности по условиям погоды для лесов Амурской области // Хвойные бореал. зоны. 2020. Т. 38. № 1–2. С. 34–42.
- 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. Определение степени пожарной опасности в лесах // Лесн. хоз-во. 1957. № 7. С. 52–57.
- Курбатский Н. П. Пожарная опасность в лесу и ее изменение по местным шкалам // Лесные пожары и борьба с ними. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 5–30.
- Нестеров В. Г. Горимость леса и методы ее определения. М.: Гослесбуиздат, 1949. 76 с.
- Пономарёв Е. И., Skorobogatova A. S., Пономарёва Т. В. Горимость лесов Сибири и межсезонные вариации уровня тепло- и влагообеспеченности // Метеорол. и гидрол. 2018. № 7. С. 45–55.
- Постановление Правительства Российской Федерации от 13 августа 2022 г. № 1409 «Об утверждении методики расчета целевых показателей ежегодного сокращения площади лесных пожаров на землях лесного фонда для субъектов Российской Федерации на период до 2030 года». М.: Правительство РФ, 2022.
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 23 июня 2014 № 276 «Об утверждении Порядка осуществления мониторинга пожарной опасности в лесах и лесных пожаров». М.: Минприроды РФ, 2014.
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 15 ноября 2016 № 597 «Об утверждении Порядка организации и выполнения авиационных работ по охране лесов от пожаров и Порядка организации и выполнения авиационных работ по защите лесов». М.: Минприроды РФ, 2016.
- Расчетная и назначенная кратность авиационного патрулирования. Красноярск: Центр лесной пирологии, развития технологий охраны лесных экосистем, защиты и воспроизводства лесов – филиал ВНИИЛМ, 2023. <https://firescience.ru/multiplicity/multiplicity3.html>
- Сныткин Г. В. Шкалы пожарной опасности для лесов Иркутской области // Лесные пожары и борьба с ними. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 58–75.
- Стародумов А. М. Природа лесных пожаров на Дальнем Востоке. М.: Наука, 1966. 50 с.
- Фурьев В. В. Шкалы пожарной опасности для лесов Забайкалья // Лесные пожары и борьба с ними. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 76–107.
- Указ Президента Российской Федерации от 15.06.2022 г. № 382 «О мерах по сокращению площади лесных пожаров в Российской Федерации». М., 2022.
- 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.
- 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.
- Ponomaryov E. I., Skorobogatova A. S., Ponomaryova T. V. Wildfire occurrence in Siberia and seasonal variations in heat and moisture supply // Rus. Meteorol. Hydrol. 2018. V. 43. Iss. 7. P. 456–463 (Original Rus. text © E. I. Ponomarev, A. S. Skorobogatova, T. V. Ponomareva. 2018, publ. in Meteorologiya i gidrologiya. 2018. N. 7. P. 45–55).
- 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.

## UPDATING REGIONAL FIRE HAZARD SCALES FOR FOREST AREAS OF KRASNOYARSK KRAI

V. A. Ivanov<sup>1,2</sup>, G. A. Ivanova<sup>1</sup>, E. O. Baksheeva<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 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

<sup>2</sup> Reshetnev Siberian State University of Science and Technology Prospekt «Krasnoyarskiy rabochiy», 31, Krasnoyarsk, 660037 Russian Federation

---

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

Due to the intensive industrial development of the territory of Krasnoyarsk Krai, significant changes have taken place in the vegetation cover and the number of fire sources has increased. Due to climate change, the number of lightning discharges, which are the main cause of forest fires in the underdeveloped northern territories of the region, has also increased. The development of a regional fire hazard scale for weather conditions is caused by the fact that the existing unified federal fire hazard scale for weather conditions does not accurately characterize the fire hazard of forest areas in the region and does not allow rationally regulating the work of forest fire services and forestry. On the basis of data on the number and area of forest fires and the causes of their occurrence, generalizations and analysis of the timing of fires and the causes of fires in the forest areas of Krasnoyarsk Krai were performed. It is revealed, that in modern conditions the area of the region is characterized by an increase in fire activity. Due to the complexity of the relief, the diversity of climatic and forest conditions for each forest area, we have constructed regional fire hazard scales for weather conditions and compared them with the unified federal scale. The use of fire hazard scales developed by us for the forest areas of the Krasnoyarsk Krai will allow timely detection and extinguishing of forest fires and, consequently, reduce damage from forest fires.

**Keywords:** forest fires, combustibility, fire hazard, patrolling.

**How to cite:** Ivanov V. A., Ivanova G. A., Baksheeva E. O. Updating regional fire hazard scales for forest areas of Krasnoyarsk Krai // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 39–49 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630.432

## РАЗРАБОТКА ОПРЕДЕЛИТЕЛЯ ТИПОВ ОСНОВНЫХ ПРОВОДНИКОВ ГОРЕНИЯ

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

E-mail: volokit@ksc.krasn.ru

*Поступила в редакцию 29.06.2023 г.*

Для совершенствования лесопожарной охраны необходимы крупномасштабные карты растительных горючих материалов (РГМ). Технология составления карт РГМ разработана в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН. Она включает методики составления карт по имеющимся материалам лесоустройства, в процессе нового лесоустройства, в процессе лесоинвентаризации или автономное составление крупномасштабных карт РГМ на ограниченные территории с использованием аэроснимков или космоснимков сверхвысокого разрешения. Для применения любой из перечисленных методик необходим определитель типов основных проводников горения (ОПГ), главной группы растительных горючих материалов, которая при появлении источников огня при определенных метеоданных обеспечивает возможность возникновения и распространения по территории пламенного горения. Типы ОПГ отражаются на самой карте, а другие группы РГМ – в прилагаемом пирологическом описании, которое представляет собой сокращенное таксационное описание с добавлением по каждому выделу отметки типа основного проводника горения с учетом критического класса засухи по условиям погоды и периода пожароопасного сезона. В статье рассматриваются методические вопросы разработки определителя типов ОПГ на примере Красноярского Приангарья, поскольку требуется адаптация для использования его в других регионах. Приведен пример определителя, использованного при глазомерной таксации при лесоустройстве ряда заповедников. В результате на ГИС-основе были созданы информационные базы данных для оперативного составления крупномасштабных карт растительных горючих материалов, которые могут использоваться для оценки текущей природной пожарной опасности в зависимости от погодных условий и для прогноза поведения возникших пожаров.

**Ключевые слова:** карты растительных горючих материалов, пирологические категории участков растительности, дешифрирование типов основных проводников горения, карты текущей природной пожарной опасности, прогноз поведения пожаров растительности.

DOI: 10.15372/SJFS20230606

### ВВЕДЕНИЕ

Лесные экосистемы (биогеоценозы) представляют собой сложные пространственные комплексы растительных горючих материалов (РГМ). В пирологической литературе обычно используется термин «лесные горючие материалы» (ЛГМ), но поскольку пожары распространяются как по лесным, так и нелесным участкам, то логичнее применять обобщающий термин «растительные горючие материалы», предложенный Э. В. Коневым (1977).

К растительным горючим материалам относятся растения, а также их остатки различной

степени разложения, которые могут активно гореть или пассивно сгорать при пожаре. Свойства РГМ и их роль при пожарах различны. Поэтому очень важна классификация растительных горючих материалов, которая разрабатывалась многими российскими учёными (Мелехов, 1947; Курбатский, 1962, 1970; Конев, 1977; Яковлев, 1979; Софронов, Волокитина, 1985; Шешуков, 1988; Волокитина, Софронов, 2002).

Из семи выделенных групп растительных горючих материалов (Курбатский, 1962, 1970) к проводникам горения при низовых пожарах относится первая группа РГМ – слои из мхов, лишайников и мелких растительных остатков

(опада, травяной ветоши); при почвенных пожарах – вторая группа РГМ, подстилка, перегнойный и торфяной горизонты; при верховых пожарах – РГМ шестой группы: хвоя и листва растущих деревьев (вместе с мелкими веточками до 7 мм). Известно, что без поддержки огня низового пожара, верховой может распространиться примерно на 200 м в равнинных условиях и на 500 м в горных. Любой пожар растительности начинается с загорания и горения первой группы РГМ, т. е. она играет определяющую роль в его возникновении и распространении по территории и поэтому получила название «основные проводники горения» (ОПГ). Именно основным проводникам горения были посвящены многолетние исследования их пирологических характеристик в разных регионах России, в результате которых была разработана их детальная классификация – деление на две подгруппы и 8 типов и 2 подтипа (Волокитина, Софронов, 2002).

Успешное контролирование и тушение пожаров растительности, особенно при недостатке сил и средств, возможно только при условии прогнозирования поведения пожаров, а для этого необходимо иметь сведения о распределении комплексов растительных горючих материалов по территории. Для целей практического использования пирологические характеристики растительности должны быть отражены на крупномасштабных картах растительных горючих материалов. Они могут быть составлены по материалам лесоустройства, в процессах лесоустройства или принятой сейчас лесоинвентаризации, или автономно на ограниченные территории с использованием аэроснимков и космоснимков сверхвысокого разрешения. Внедрение разработанных методик составления карт РГМ сдерживается из-за отсутствия региональных определителей типов основных проводников горения.

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАБОТЫ

Тип основных проводников горения – это непрерывный слой из гигроскопичных растительных горючих материалов на поверхности почвы, по которому при определенных условиях может распространяться пламенное горение. Он представляет собой смесь частиц, относящихся к различным видам растительных горючих материалов, причем смесь неоднородную, с различиями не только по составу смеси, но и по ее

структуре. В составе основного проводника горения обычно участвуют мелкие растительные остатки, включая сучья диаметром до 2 см, которые могут сгорать в пределах кромки пожара; несосудистые растения (мхи, лишайники), неспособные регулировать свое влагосодержание; сосудистые растения и их части, находящиеся в пределах слоя ОПГ, стебли трав и кустарников и сами растения (например, зеленые травы в слое травяной ветоши). Водный режим мхов и лишайников однотипен с водным режимом растительных остатков, те и другие – гигроскопические тела. Травянистые растения и их части в пределах слоя ОПГ имеют всегда высокое влагосодержание, они тем самым повышают общее влагосодержание в нем, а также экранируют пламя, препятствуя его распространению. Влагосодержание кустарничков обычно невелико, и они не задерживают горение.

Для основного проводника горения характерны послышные различия: а) по составу, иногда значительные (например, травяная ветошь, а под ней мох); б) по степени разложения слагающих частиц и в) по плотности слоя (например, различие между верхними и нижними частями мохового покрова или опада). Кроме того, состав основного проводника горения имеет обычно более или менее выраженные различия по площади, т. е. мозаичный характер за счет синузильности, нанорельефа и расположения деревьев (под деревьями больше опада).

Слой основных проводников горения – это очень динамичная равновесная система. В течение года в него все время поступает органика, как в виде опада, так и за счет прироста мхов, лишайников и сосудистых растений. Органика подвергается в слое превращениям, структурным изменениям, разложению и окислению и затем переходит в слой подстилки. Процессы роста, отмирания, опадения хвои и листвы, разложения происходят во времени очень неравномерно, особенно в южно-таежных лесах, поэтому пирологическая характеристика слоя ОПГ в течение сезона может изменяться довольно значительно.

Главная трудность и сложность в определении типов ОПГ заключается в огромном разнообразии образующих смесей из растительных горючих материалов; проводник может быть одновременно с признаками двух, трех и даже четырех типов ОПГ. Кроме того, при определении типов ОПГ необходимо спрогнозировать их сезонную динамику, особенно такое явление, когда один тип переходит в другой. Следовательно,

определители типов ОПГ должны быть региональными, хотя принципы их составления могут быть общими. Целью данного исследования было не только разработать общие принципы составления определителя типов основных проводников горения, но и составить такой определитель для Красноярского Приангарья.

## МЕТОДИКА РАБОТ

**Подбор материалов.** В подготовительный период в Красноярском Приангарье (Чунский лесхоз) были подобраны материалы, приборы и инструменты, которые потом использовались в процессе работы: 1) план лесонасаждений лесничества (в цвете и неокрашенный); 2) таксационное описание; 3) пояснительная записка к проекту организации лесного хозяйства (с описанием типов леса и их распространенностью); 4) материалы по динамике горимости лесов лесничества в течение сезона; 5) топографические карты масштаба 1 : 100 000 – 1 : 500 000; 6) спектрональные космические снимки масштаба 1 : 200 000; 7) материалы аэрофотосъемки на ключевые участки (спектрональные снимки масштаба 1 : 15 000); 8) литературные материалы с описанием типов леса и типов нелесных фитоценозов на район исследований, а также местные шкалы пожарной опасности; 9) приборы и инструменты: геодезические, таксационные, метеорологические, а также стереоскоп для дешифрирования аэроснимков.

**Оценка ландшафтной неоднородности района работ.** Ландшафтная неоднородность может быть обусловлена различиями в общем характере рельефа или его структуре, или в свойствах почвообразующих пород. Различия в общем характере рельефа оценивали по топографической карте 1 : 500 000, кроме того, использовали карту масштаба 1 : 500 000 «Ландшафты юга Восточной Сибири» (1977). При этом обращали внимание на такие части, как поймы, долины, террасы, водораздельные пространства. Свойства почвообразующих пород в сочетании с характером рельефа находят отражение в составе лесов, в их размещении по территории, а также в степени заболоченности территории. В результате пирологического районирования на территории Красноярского Приангарья было выделено пять пирологических районов: 1) горно-таежный район лиственничных лесов; 2) Чунский район южно-таежных производных смешанных мелколиственных лесов; 3) Бирюсинский район подтаежных лиственничных и

сосновых лесов; 4) правобережный Ангарский район южно-таежных сосновых производных лесов и среднетаежных лиственничных; 5) левобережный Ангарский район южно-таежных и подтаежных сосновых лесов (Софронов, Волокитина, 1990).

**Анализ лесотипологических схем.** За основу была взята «Схема типов леса Ангарского южно-таежного района лиственнично-сосновых лесов», разработанная в Институте леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР и использованная при последнем лесоустройстве лесхозов Красноярского Приангарья. Кроме того, анализировались описания типов леса и нелесных фитоценозов по литературным и другим материалам. В итоге составлялось максимально полное описание типов леса и типов нелесных фитоценозов района исследований.

**Подбор ключевых участков, профилей и выбор времени полевых работ.** При выборе ключевых участков учитывали в первую очередь сделанное ландшафтно-пирологическое районирование территории Чунского лесхоза. При этом принимали во внимание репрезентативность и доступность участков.

Маршрутные ходы (профили) закладывали по методике ландшафтоведов и типологов, обычно от водотока к водоразделу, поперек последнего. Профили проходили в первую очередь по выделам, в которых отмечены наиболее распространённые типы леса для данного природно-территориального комплекса. Старались пересечь профилями выделы, которые могут служить преградами для пожара (приручейные, долинные, заболоченные типы леса), а также нелесные площади и не покрытые лесом (вырубки, гари). Для прокладки профилей использовали квартальные просеки, дороги (в основном лесовозные).

Время полевых работ зависит от сезонной динамики свойств у основных проводников горения. Для южно-таежных лесов, где преобладают травяные типы леса, кроме летних наблюдений проводились весенние и осенние.

**Полевые работы.** Основной задачей полевых работ было уточнение связи между типами леса и типами основных проводников горения в каждый период пожароопасного сезона. Работали по следующей схеме. На профилях не реже чем через 200 м делали остановки, записывали квартал и номер таксационного выдела. Затем описывали подробно фитоценоз по специально разработанной схеме (табл. 1).

Таблица 1. Порядок пиарологического описания фитоценоза

№ п/п	Описание
1	Дата _____ Номер точки _____
2	Расстояние от квартального столба _____ м
3	Квартал _____ выдел _____ тип леса _____
4	Местоположение _____
5	Экспозиция _____ Уклон _____
6	Нанорельеф (описание элементов, % площади) _____
7	Описание яруса $H > 10$ м: состав, средняя высота до крон ( $K$ , м), полнота ( $\Pi$ ), характер размещения деревьев (равномерно, неравномерно, куртинами), состояние стволов (засмоленность коры, наличие карр и подсушин, дуплистость и т. п), сухостой (запас ( $Z$ ), $\text{м}^3/\text{га}$ ). На горяч указатъ давность пожара, бывший состав древостоя, его высоту и полноту, процент отпада, состояние отмерших деревьев.
8	Описание яруса $H = 3-10$ м аналогично п. 7
9	Описание яруса $H = 1-3$ м (включает крупный подрост и подлесок, молодняки и кустарниковые заросли): состав, средняя высота ( $H$ , м), сомкнутость ( $c$ ), характер размещения.
10	Захламленность: вид (валеж, порубочные остатки), запас ( $Z$ , $\text{м}^3/\text{га}$ ), крупность, состояние
11	Описание яруса $H = 0.3-1$ м: а) полукустарники и мелкие кустарники, включая мелкий подрост и подлесок: степень покрытия ( $C$ ), размещение по площади и по элементам рельефа, высота ( $H$ , м), состав; б) травы: степень покрытия ( $C$ ), размещение, высота, состав, в том числе доля злаков* и осок**
12	Описание яруса $H = 0-0.3$ м: а) кустарнички, включая самосев древесных пород: степень покрытия ( $C$ ), размещение, высота, состав, в том числе доля злаков, осок и осочек***
13	Мохово-лишайниковый покров: степень покрытия ( $C$ ), размещение, толщина слоя ( $T$ , см), состав
14	Мертвый напочвенный покров: а) травяная ветошь, т. е. усохшие травы на корню: степень покрытия ( $C$ ), размещение, высота слоя, состав, в т. ч. доля усохших злаков и осок, возможность распространения горения по слою при его высыхании; б) опад и слой из перегнивающей травяной ветоши ( $A_0$ ): степень покрытия, размещения по площади и по элементам нанорельефа, состав, плотность слоя, степень разложения, толщина ( $T$ , см)
15	Подстилка ( $A_0''$ и $A_0'''$ ): состав (из опада, из очеса мхов или дернина), толщина, плотность
16	Почва: наличие перегнойного или торфяного горизонта, его толщина ( $T$ , см), механический состав почвообразующей породы (песок, супесь, легкий суглинок, тяжелый суглинок, режим увлажнения (сухое, недостаточное, нормальное, повышенное, временно-избыточное, постоянно-избыточное)
17	Тип основного проводника горения (тип ОПГ) и возможные его сезонные изменения
18	Пробные зажигания: дата, лесопожарный показатель засухи (ЛПЗ), класс засухи (КЗ), элемент нанорельефа, оценка распространения горения

*Примечание.* Высота ярусов трав и кустарничков считается от поверхности опада, мха или лишайника. Границы ярусов по высоте примерные.

\* Злаки (вейник (*Calamagrostis* spp.), мятликовые (*Poa* spp.), овсяницы (*Festuca* spp.)). \*\* Осока (*Carex* spp.). \*\*\* Осочка (осока большехвостая (*Carex macroura* Meinsh.)).

В тех случаях, когда тип ОПГ был не совсем ясен, делали пробные зажигания напочвенного покрова. Для точного определения типа ОПГ необходимо сделать два-три пробных зажигания при разных классах засухи. В целях безопасности огневых опытов использовали специальный цилиндрический экран. Для определения класса засухи (по условиям погоды) по показателю влажности ПВ-1 ЛенНИИЛХа с дифференцированными поправками на осадки (Вонский,

Жданко, 1976) проводили собственные метеорологические наблюдения.

**Камеральные работы.** Анализ полевых материалов начинали с группировки всех пунктов (точек) описания по типам леса, отмеченным для этих точек в таксационном описании. Затем анализировали описание каждой точки, сравнивая их с описанием типа леса и отделяли достаточно типичные точки от нетипичных. При этом тщательно анализировали причины нетипич-

ности (состав, полнота, возраст, малая площадь и т. д.). Нетипичные точки в каждом типе леса делили на четыре категории: 1) из «Схемы...», 2) любые, 3) не вошедшие в «Схему...», 4) случайно отнесенные к основному типу.

Категории типичных и нетипичных точек делили на группы по периодам сезона: весенне-осенний и летний. Затем составляли наиболее полное описание характерных признаков каждой группы. В каждой группе отбирали точки с полным циклом пробных зажиганий, по которым судили о классе засухи, когда достигается пожарная зрелость покрова. По данным пробных зажиганий с учетом состава, полноты и фенологического состояния древостоя, а также экспозиции и крутизны склона, уточняли типы ОПГ. В тех случаях, когда полный цикл пробных зажиганий сделать не удалось, тип ОПГ уточняли при тщательном анализе описаний каждой группы. В итоге составлялось описание всего типа леса с указанием типов ОПГ для каждого периода сезона и для вариантов типа леса по полноте, составу и возрасту.

**Объем работ.** Наблюдения проводились в Красноярском Приангарье в течение трех полевых сезонов (в весенний, летний и осенний периоды). Заложено восемь пирологических профилей протяженностью от 2 до 4 км. Сделано описание фитоценоза более чем на 200 точках наблюдений и взяты образцы напочвенного покрова для определения запаса. Выполнена математическая обработка полевых материалов, рассчитаны средние значения и их среднеквадратические отклонения для запасов и плотности опада, мхов и подстилки.

### ПРИНЦИПЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ТИПА ОПГ

Тип основного проводника горения на участке определяется следующими элементами:

1) характеристикой слоя ОПГ по составу, включая анализ его пространственной динамики по площади (мощность) и послонно;

2) характеристикой слоя ОПГ по условиям поступления в него различных видов растительных горючих материалов и условиям их разложения с учетом динамики этих процессов во времени;

3) оценкой условий увлажнения слоя ОПГ (прежде всего, почвенным увлажнением) и условиями высыхания, их динамикой во времени (например, листопадом древостоя);

4) оценкой условий горения по площади и их динамикой во времени (равномерностью распределения запаса по площади, его достаточностью для распространения горения, синузильностью, влиянием травяной растительности).

#### Порядок определения типа ОПГ на участке:

1) определение фона напочвенного покрова;

2) анализ послонности (наличие травяно-ветошного слоя над опадом и над мхом);

3) динамика в поступлении опада (опад листьев, усыхание трав) и его разложение, скорость разложения оёса мха;

4) оценка подгруппы ОПГ по периодам сезона;

5) определение типов ОПГ для разных периодов сезона, учитывая особенности выделения каждого типа ОПГ, в том числе и исключения из общих правил, указанные выше;

6) контрольные пробные зажигания при разных классах засухи в течение сезона;

7) окончательное установление типа ОПГ (с поправкой на затенённость);

8) взятие образцов на запас ОПГ, подстилки, травяно-кустарничкового яруса для характеристики категорий участков.

**Пирологические категории участков Красноярского Приангарья.** В результате анализа собранных полевых материалов было выделено 12 пирологических категорий участков, отличающихся по типам ОПГ, по их сезонной динамике и самому характеру биогеоценозов (подробная характеристика выделенных пирологических категорий приведена в приложении 1):

1. Сосняки с лишайниковым покровом (тип ОПГ – лишайниковый (Лш) в течение всего пожароопасного сезона.

2. Сосняки без примеси темнохвойных с зеленомошным покровом (тип ОПГ – сухомшистый (Сх) в течение всего сезона).

3. Сосняки с примесью и подростом темнохвойных пород с зеленомошным покровом (тип ОПГ – влажно-мшистый (Вл) в течение всего сезона).

4. Сосняки (обычно пройденные пожарами) без покрова из мхов или лишайников (тип ОПГ – рыхлоопадный (Рх) в течение всего сезона).

5. Темнохвойные, березовые и смешанные насаждения с покровом из зеленых мхов (тип ОПГ – влажно-мшистый (Вл) в течение всего сезона).

6. Лиственные и смешанные насаждения с покровом из осочки и злаков, с наличием дернины (тип ОПГ весной – рыхлоопадный (Рх), летом плотноопадный (Пл)).



7. Березняки разнотравные с пятнами осочки и с отсутствием опада летом (тип ОПГ весной – рыхлоопадный (Рх), летом – беспроводниковый (Бп<sub>1</sub>)).

8. Березняки с редким покровом из разнотравья и отсутствием опада летом (тип ОПГ весной – плотноопадный (Пл), летом – беспроводниковый (Бп<sub>1</sub>)).

9. Осинники с отсутствием опада летом (тип ОПГ весной – плотноопадный (Пл), летом – беспроводниковый (Бп<sub>1</sub>)).

10. Кочкарные лощины (тип ОПГ весной – травяно-ветошный (Тв), летом – беспроводниковый (Бп<sub>1</sub>)).

11. Вейниковые и осоко-вейниковые вырубки, недорубы, молодняки (тип ОПГ весной – травяно-ветошный (Тв), летом – рыхлоопадный (Рх)).

12. Гари и пройденные пожаром насаждения с травяным покровом и недостатком опада (тип ОПГ весной – травяно-ветошный (Тв), летом – беспроводниковый (Бп<sub>1</sub>)).

#### ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ ТИПОВ ОПГ

Как показал анализ, тесная связь между выделенными пирологическими категориями и типами леса отсутствует. Причиной является внутренняя неоднородность таксационных выделов из-за ограничений их минимальной площади. Наиболее заметна связь у «нетравяных» типов леса: выделы с хвощево-зеленомошными и мшистыми типами относятся в основном к категориям с влажномшистым типом ОПГ, с бруснично-зеленомошным и чернично-зеленомошным типами – к категории с лишайниковым или сухомшистым типом ОПГ, выделы с бруснично-толокнянковым типом леса – к категории с лишайниковым и рыхлоопадным типами ОПГ. Что касается самых распространённых травяных типов леса (осочковых и осочково-разнотравных), то в их выделах могут встречаться участки, относящиеся к самым разным категориям с самыми различными типами ОПГ (кроме лишайникового). Данный вывод подтверждает необходимость разработки простого определителя типов основных проводников горения.

Преобладание в Южном Приангарье участков леса с травяными напочвенными покровами, которые не только различаются по типам ОПГ, но и по их динамике, осложняет дело, поскольку нельзя ограничиться непосредственным определением типа ОПГ, нужен еще прогноз его ди-

намики по косвенным признакам, отражающим условия поступления растительных остатков в слой ОПГ осенью и весной и условия их разложения. Это и послужило причиной выделения пирологических категорий участков. В полный перечень диагностических признаков включаются: 1) категория площади; 2) типичное местоположение на рельефе; 3) оценка механического состава почвы и режима увлажнения; 4) состав древостоя и его особенности; 5) характер напочвенного покрова (живого и мёртвого), иногда – подстилки.

В табл. 2 даны диагностические признаки типов ОПГ для летнего периода, когда проводится большая часть таксационных работ при лесоустройстве, а в приложении 2 приведен определитель типов основных проводников горения, который прошел опытную проверку при лесоустройстве Бархатовского лесничества Красноярского лесхоза Восточно-Сибирским лесостроительным предприятием: при глазомерной таксации в 330 карточках таксации были отмечены типы основных проводников горения по периодам пожароопасного сезона, а позднее был использован при лесоустройстве заповедников «Столбы» (сейчас национальный парк), Саяно-Шушенский, Кузнецкий Алатау, Убсунурская котловина. На перечисленные заповедники были созданы информационные базы данных в ГИС для составления крупномасштабных карт растительных горючих материалов, которые могут быть использованы для выполнения карт текущей природной пожарной опасности, для прогноза поведения возникших пожаров и управления ими.

#### ДЕШИФРИРОВАНИЕ ТИПОВ ОПГ

Основные проводники горения – это объект, закрытый сверху пологом леса, ОПГ опадной группы претерпевают еще и значительные сезонные изменения, различные в разных условиях. Поэтому дешифрирование типов ОПГ на снимках возможно проводить лишь путём выделения и дешифрирования пирологических категорий участков, а методы их дешифрирования в принципе аналогичны дешифрированию типов леса (но прямое дешифрирование возможно в редкостойных северных лесах, где практически отсутствуют травяные типы леса).

Кроме того, можно использовать и косвенный метод дешифрирования типов ОПГ – через сами типы леса, т. е. таксатор по известной методике дешифрирует типы леса, а затем по типам

Таблица 2. Диагностические признаки типов проводников горения (ОПГ)

Тип ОПГ и его динамика	Категория площадей	Местоположение	Механический состав почвы	Режим увлажнения	Древостой	Напочвенный покров	Главные диагностические признаки
1	2	3	4	5	6	7	8
Лш-Лш	Лес и редины	Повышенное	Песчаные и супесчаные	Недостаточный и сухой	С, иногда с Б	Покров из лишайников (покрытие 0.6–0.8)	Сухие сосняки с лишайниковым покровом
Сх-Сх	Лес	»	То же	Недостаточный и нормальный	С, иногда с Б, Ос, Лц	Покров из зеленых мхов с примесью лишайников	Сосняки без примеси темнохвойных, с зелено-мошным покровом
Вл-Вл	»	Ровное и повышенное	Спесчаные и суглинистые	Нормальное	С с примесью темнохвойных и Б	Наличие покрова из зеленых мхов	Сосняки с примесью и подростом темнохвойных, с зеленомошным покровом
Рх-Рх	»	Повышенное	Спесчаные	Недостаточное и нормальное	С, иногда с Б и Ос	Нет покрова из мхов и лишайников	Сосняки, пройденные пожарами, без мхов и лишайников
Вл-Вл	»	Ровное	Суглинистые	Нормальное, реже повышенное	Темнохвойные, березняки с темнохвойными в составе	Наличие покрова из зелёных мхов	Темнохвойные, берёзовые и смешанные насаждения с покровом из зеленых мхов
Рх-Пл	»	Повышенное	Супесчаные и легкосуглинистые	Нормальное	Лиственные, иногда с темнохвойными	Покров с преобладанием осочки и злаков, создающих дернину	Лиственные и смешанные насаждения с покровом из осочки и злаков
Рх-Бл <sub>1</sub>	»	Ровное	Суглинистые и супесчаные	»	Березняки, иногда с темнохвойными	Покров из разнотравья с пятнами осочки	Березняки разнотравные с пятнами осочки и с отсутствием опада
Пл-Бл <sub>1</sub>	»	»	Суглинистые, реже супесчаные	»	Березняки с примесью Ос и темнохвойных	Слаборазвитый покров из разнотравья; опад – верхний слой подстилки	Березняки с редким покровом из разнотравья и нет опада летом
Пл-Бл <sub>1</sub>	»	»	Супесчаные и суглинистые	»	Осинники, иногда с Б и темнохвойными	Покров из мелкотравья и разнотравья, не густой; опад – верхний слой подстилки	Осинники с отсутствием опада летом
Тв-Бл <sub>1</sub>	Лес и редины	Лощины	Торфянистые	Избыточное	Редкостойные и редины, кроме С	Кочки с осокой или злаками	Кочкарные лощины
Тв-Рх	Вырубки и недорубы	Повышенное и ровное	Супесчаные и суглинистые	Нормальное и недостаточное	Вырубки, редины, негустые молодняки	Сплошной покров из злаков или осок	Вейниковые и осоково-вейниковые вырубки, недорубы, молодняки
Тв-Бл <sub>1</sub>	Гари и пожарища	То же	То же	То же	Изреженные пожаром насаждения	Разнотравный с преобладанием злаков и осок; летом нет опада или малый запас	Недавние гари и пройденные пожаром насаждения с травяным покровом, мало опада

Примечание. С – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), Лц – лиственница (*Larix Mill.*), Б – береза (*Betula* L.), Ос – осина (*Populus tremula* L.).

леса определяет типы основных проводников горения и прогнозирует их динамику. Но в связи со значительной разнородностью участков, относимых на практике к одному типу леса, а также из-за погрешностей в дешифрировании типов леса, такой метод косвенного дешифрирования недостаточно точен, но применимым на практике при III разряде лесоустройства.

При разработке метода дешифрирования типов ОПГ через пирологические категории участков необходимо в полном объеме использовать разработанные и используемые дешифровочные признаки по оценке состава древостоя, его состояния, по определению характера растительности на нелесных и не покрытых лесом площадях и т. д. Ввиду того, что характеристику по типам ОПГ планировалось включить в таксационное описание, то и дешифрирование типов ОПГ должно проводиться одновременно в комплексе с дешифрированием таксационных характеристик. Поэтому специально указывать в дешифровочных признаках типов ОПГ как определить состав древостоя или его класс бонитета и т. п. мы посчитали нецелесообразным.

Из выделенных пирологических категорий участков некоторые могут быть дешифрированы довольно просто.

1. Категория сосняков с лишайниковым покровом оценивается по преобладанию сосны в древостое и по отображенному на снимке белому лишайниковому покрову, поскольку такие сосняки не отличаются высокой полнотой.

2. Сосняки с сухомшистым типом ОПГ располагаются на повышенных местах и характеризуются отсутствием в составе древостоя темнохвойных пород.

3. Сосняки с рыхлоопадным типом ОПГ – это те же самые сухомшистые сосняки, но пройденные в недавнем прошлом низовым пожаром, следы которого всегда видны в виде куртин листовенного молодняка в самом сосняке и по соседству.

4. Сосняки с влажно-мшистым типом ОПГ характеризуются всегда примесью темнохвойных пород.

5. Темнохвойные насаждения имеют, как правило, влажно-мшистый тип основного проводника горения.

6. Насаждения с преобладанием осины (начиная со стадии жердняка) имеют обычно весной плотноопадный, а летом беспроводниковый тип ОПГ (Бп<sub>1</sub>).

7. Старые гари и вырубки, редины и недорубы с преобладанием в покрове злаков и осок дешифрируются обычными методами: весной они

имеют травяно-ветошный тип ОПГ, а летом – рыхлоопадный.

8. Недавние гари и пройденные пожарами насаждения выделяются по наличию свежего сухостоя, погибшего молодняка и т. п. Данная категория также имеет травяно-ветошный тип ОПГ весной, но летом из-за отсутствия нормального слоя подстилки (которая изолирует опад от почвы) активное разложение опада приводит к беспроводниковому типу (Бп<sub>1</sub>).

9. Обычным путём дешифрируются кочкарные ложины (Тв-Бп<sub>1</sub>), болотные леса (Бм<sub>1</sub>), сфагновые болота (Бм<sub>1</sub> и Бм<sub>2</sub>), осоково-сфагновые болота (Тв-Бм<sub>2</sub>).

Специальной доработки требуют вопросы дешифрирования категорий участков в чистых и смешанных березняках (Вл-Вл), (Рх-Пл), (Рх-Бп<sub>1</sub>), (Пл-Бп<sub>1</sub>), поскольку они особо не отличаются ни местоположением на рельефе, ни полнотой древостоя и могут характеризоваться весной и влажно-мшистым, и рыхлоопадным и плотноопадным типами ОПГ, а осенью – как влажно-мшистым, так и плотноопадным или беспроводниковым (Бп<sub>1</sub>) типами ОПГ: (Вл-Вл), (Рх-Пл), (Рх-Бп<sub>1</sub>), (Пл-Бп<sub>1</sub>).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенный пример разработки определителя основных проводников горения содержит основные принципы его составления, что поможет в создании подобных определителей на другие регионы лесной территории. Наиболее сложным при этом будет вопрос дешифрирования типов ОПГ на аэро- и космических снимках в южно-таежных лесах, поскольку придется дешифрировать, характер напочвенного покрова, главным образом, по косвенным признакам, в отличие от северотаежных лесов, где будут преобладать прямые признаки. В настоящее время в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН выполняются исследования, направленные на использование космических снимков сверхвысокого разрешения для составления крупномасштабных карт растительных горючих материалов на отдельные северотаежные территории, разрабатываются эталоны дешифрирования основных проводников горения.

*Статья подготовлена в рамках базового проекта ИЛ СО РАН «Научные основы сохранения ресурсного и экологического потенциала лесов Сибири в условиях кумулятивных антропогенных и природных рисков», № FWES-2021-0010, Рег. НИОКТР № 121030900181-4.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Волокитина А. В., Софронов М. А. Классификация и картографирование растительных горючих материалов. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2002. 314 с.
- Вонский С. М., Жданко В. А. Принципы разработки метеорологических показателей пожарной опасности в лесу: Метод. реком. Л.: ЛенНИИЛХ, 1976. 47 с.
- Конев Э. В. Физические основы горения растительных материалов. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 239 с.
- Курбатский Н. П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М.: Гослесбумиздат, 1962. 154 с.
- Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
- Ландшафты юга Восточной Сибири (карта м-б 1:1 500 000). М.: ГУГК, 1977.
- Мелехов И. С. Природа леса и лесные пожары. Архангельск: ОГИЗ, 1947. 60 с.
- Софронов М. А., Волокитина А. В. Типы основных проводников горения при низовых пожарах // Лесн. журн. 1985. № 5. С. 12–17.
- Шеиуков М. А. Биоэкологические и зонально-географические основы охраны лесов от пожаров на Дальнем Востоке: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1988. 33 с.
- Яковлев А. П. Пожароопасность сосновых и лиственничных лесов // Лесные пожары в Якутии и их влияние на природу леса. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1979. С. 195–213.

### Приложение 1. Пирологические категории участков Красноярского Приангарья

**1. Сосняки с лишайниковым покровом** (тип ОПГ – лишайниковый (Лш) в течение всего пожароопасного сезона).

Местоположение повышенное. Механический состав почв – супесчаные и песчаные. Режим увлажнения – недостаточный или сухой. Нанорельеф почти не выражен, Древостой – сосна, изредка с примесью березы. Полнота 0.4–0.6, редко до 0.8; могут быть редины (недорубы) с полнотой 0.2–0.3. Подрост и подлесок не выражены, сомкнутость до 0.1. Захламленность до 50 м<sup>3</sup>/га. Травяно-кустарничковый ярус слабо выражен, покрытие до 0.2–0.7: толокнянка (*Arctostaphylos* Adans.), брусника (*Vaccinium vitis-idaea* L.), хвощи (*Equisetophytina* Reveal). ОПГ – кладония (*Cladonia* Hill ex P. Browne), покрытие 0.6–0.8 с включением опада сосны, наблюдается примесь зелёных мхов; толщина лишайников около 4 см, плотность 21 ± 5 кг/м<sup>3</sup>; запас 0.8 ± 0.3 кг/м<sup>2</sup>. Опад сосны: запас 0.3 ± 0.1 кг/м<sup>2</sup>. Подстилка под лишайником име-

ет мощность 0.5 см, плотность 180 ± 80 кг/м<sup>3</sup>, запас 0.9 ± 0.4 кг/м<sup>2</sup>.

**2. Сосняки без примеси темнохвойных с зеленомошным покровом** (тип ОПГ – сухо-мшистый (Сх) в течение всего сезона).

Местоположение повышенное. Механический состав почвы – песчаная и супесчаная. Режим увлажнения – недостаточное и нормальное. Нанорельеф выражен слабо. Древостой сосновый, иногда с примесью березы, осины и лиственницы. Полнота – средняя и выше средней (0.6–0.8), исключение составляют вырубки в таких местах. Ярус подроста и подлеска обычно не выражен. Захламленность до 50 м<sup>3</sup>/га, в основном приземленный. Травяно-кустарничковый ярус из брусники, иногда с примесью толокнянки, черники (*Vaccinium myrtillus* L.), злаков и осок, покрытие обычно незначительное – 0.1–0.3 (до 0.7). ОПГ – зеленые мхи (с преобладанием мха плевроциума Шребера (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.)), иногда с примесью лишайников, имеют покрытие 0.6–0.9; остальная площадь покрыта опадом сосны. Толщина мхов 3–5 см, плотность 16 ± 8 кг/м<sup>3</sup>, общий запас 0.7 ± 0.3 кг/м<sup>2</sup>. Подстилка – из очеса мхов, толщиной 1–3 см, плотность 30 ± 20, запас 0.6 ± 0.2.

**3. Сосняки с примесью и подростом темнохвойных пород с зеленомошным покровом** (тип ОПГ – влажно-мшистый (Вл) в течение всего сезона).

Местоположение ровное и слегка повышенное. Почвы супесчаные и суглинистые. Увлажнение нормальное. Нанорельеф слабо выражен. Древостой – сосна с примесью темнохвойных (ели (*Picea* A. Dietr.), кедр (*Pinus sibirica* Du Tour) до 1–2 единиц) и вторым ярусом из березы. Подрост из темнохвойных пород, редкий. Полнота средняя – 0.6–0.7. Травяно-кустарничковый ярус – покрытие 0.4–0.5 (злаков и осок 0.1–0.2) – хвощ лесной (*Equisetum sylvaticum* L.), мелко-травье, вейник (*Calamagrostis* Adans.), иногда брусника. Моховой покров – покрытие 0.8–0.9 часто с политрихом (*Polytrichum* Hedw.), толщина 3–4 см, плотность 11 ± 6 кг/м<sup>3</sup>, запас 0.5 ± 0.2. Подстилка – из очеса толщиной 3–4 см, плотность 50 ± 20 кг/м<sup>3</sup>, запас 0.9 ± 0.3 кг/м<sup>2</sup>.

**4. Сосняки (обычно пройденные пожарами) без покрова из мхов или лишайников** (тип ОПГ – рыхлоопадный (Рх) в течение всего сезона).

Местоположение повышенное. Почвы супесчаные. Увлажнение недостаточное, реже нормальное. Древостой – сосняки, иногда с примесью березы и осины, но без примеси темно-

хвойных даже в подросте. Полнота 0.5–0.7. Захламленность 20–30 м<sup>3</sup>/га. Подрост и подлесок редкие. Травяно-кустарничковый ярус редкий, покрытие 0.2–0.6; запас около 130 г/м<sup>2</sup>, обычно есть брусника и вейник, а также разнотравье и мелкотравье, редко черника. Мохово-лишайниковый покров часто отсутствует или достигает лишь 0.2 проективного покрытия, т. е. практически это мертвоопадный сосняк. ОПГ – опад сосны толщиной 1–2 см, запас около 0.2 (до 0.5) кг/м<sup>2</sup>. Подстилка – толщина 1–2 см, плотность около 50 кг/м<sup>3</sup>, запас до 1 кг/м<sup>2</sup>.

**5. Темнохвойные, березовые и смешанные насаждения с покровом из зеленых мхов (тип ОПГ – влажно-мшистый (Вл) в течение всего сезона).**

Местоположение ровное. Почвы суглинистые. Режим увлажнения – нормальное, редко повышенное. Нанорельеф слабо выражен. Древостой – возрастной стадийный ряд от березняков с темнохвойным подростом или вторым темнохвойным ярусом (ель, пихта (*Abies Mill.*), кедр) через березняки с участием в их составе темнохвойных, до темнохвойных с примесью березы и темнохвойных без примеси березы. Полнота повышенная (0.7–0.8). Подрост обычно редкий, темнохвойный (кроме чистых березняков); подлесок практически отсутствует. Травяно-кустарничковый ярус имеет покрытие 0.3–0.5, в том числе злаков и осок 0.1–0.2; включает мелкотравье, вейник, осочку и часто хвощ лесной; кустарнички почти отсутствуют. ОПГ – моховой покров из гилокомиума (*Hylocomiastrum M. Fleisch. ex Broth.*) и мха (плевроциум Шребера), покрытие обычно 0.7–0.8; толщина 3 см (с включением опада древостоя), плотность 11 ± 6 кг/м<sup>3</sup>, запас 0.5 ± 0.2 кг/м<sup>2</sup>. Подстилка из очеса зеленых мхов, толщина 1–3 см (иногда бывает до 10 см), плотность 60 ± 30 кг/м<sup>3</sup>, запас 0.9 ± 0.3 кг/м<sup>2</sup>.

**6. Лиственные и смешанные насаждения с покровом из осочки и злаков, с наличием дернины (тип ОПГ весной рыхлоопадный (Рх), летом плотноопадный (Пл)).**

Местоположение повышенное. Почвы супесчаные и легкосуглинистые. Увлажнение нормальное. Древостой высокобонитетный (II–I), обычно с полнотой 0.7–0.8; по составу лиственные (с участием березы или светлохвойных), иногда с примесью темнохвойных (не более 4 единиц). Ярус подроста и подлеска развит слабо, но всегда имеется редкий подрост темнохвойных. Травяно-кустарничковый ярус – кустарничков

почти нет; травяной покров с проективным покрытием 0.5–0.7; всегда присутствует обильно осочка или реже злаки (вейник), с примесью мелкотравья и разнотравья. Запас 30–60 г/м<sup>2</sup> (но бывает до 120 г/м<sup>2</sup>). Моховой покров обычно отсутствует, если имеется, то не более 0.2 проективного покрытия (на валёжинах). ОПГ – опад древесный, летом: толщина 1.5–2 см, запас 0.25 ± 0.06 кг/м<sup>2</sup>, плотность 16 ± 6 кг/м<sup>3</sup>; весной: опад толщиной 2–4 см, запас 0.26 ± 0.07 кг/м<sup>2</sup>, плотность 10 ± 6 кг/м<sup>3</sup>. Подстилка толщиной 3–5 см, запас 2.8 ± 1.0; плотность 60 ± 30 кг/м<sup>3</sup>, имеет характер дернины.

**7. Березняки разнотравные с пятнами осочки и с отсутствием опада летом (тип ОПГ весной – рыхлоопадный (Рх), летом – беспроводниковый (Бп1)).**

Местоположение ровное. Почвы суглинистые и супесчаные. Увлажнение нормальное. Древостой – березняки I–II классов бонитета, полнота 0.6–0.8; обычно примесь темнохвойных, чаще в подросте. Травяно-кустарничковый ярус – кустарничков практически нет; травяной ярус с покрытием до 0.8 из разнотравья и мелкотравья с пятнами осочки. Запас менее 0.1 кг/м<sup>2</sup>.

Моховой покров развит слабо. ОПГ – опад только весной из листьев березы и опада трав, толщиной 3–4 см и запасом 0.2–0.3 кг/м<sup>2</sup>, плотность 10 ± 5 кг/м<sup>3</sup>. Летом опада как такового нет. Имеется подстилка: верхний слой А<sub>0</sub> толщиной до 1 см, запас 0.1–0.2 кг/м<sup>2</sup>, нижний слой А<sub>0</sub> толщиной 3–4 см с запасом 2–4 кг/м<sup>2</sup> при плотности 60–100 кг/м<sup>3</sup>.

**8. Березняки с редким покровом из разнотравья и отсутствием опада летом (тип ОПГ весной – плотноопадный (Пл), летом – беспроводниковый (Бп1)).**

Местоположение ровное. Почва суглинистая, реже супесчаная. Увлажнение нормальное. Древостой – березняк с примесью осины (до 2–3 ед.) и хвойных – до 3–4 ед. Полнота 0.7–0.9; подрост редкий, темнохвойный. Захламленность 5–10 м<sup>3</sup>/га. Травяно-кустарничковый ярус разнотравный, с примесью вейника, мелкотравья, осочки (бывает черемша (*Allium ursinum L.*)); покрытие 0.4–0.6; запас менее 0.1 кг/м<sup>2</sup>. Моховой покров развит слабо, покрытие 0.1–0.4 (обычно на старом валеже). ОПГ – опад деревьев и трав только весной: толщина 2–4 см, запас 0.2–0.3 кг/м<sup>2</sup>, плотность 10–20 кг/м<sup>3</sup>; летом опад уплотняется до толщины менее 1 см и превращается в верхний слой подстилки А<sub>0</sub> толщиной 2–4 см, запас 1.5–3 кг/м<sup>2</sup>, плотность 50–100 кг/м<sup>3</sup>.

**9. Осинники с отсутствием опада летом** (тип ОПГ весной – плотноопадный (Пл), летом – беспроводниковый (Бп<sub>1</sub>)).

Местоположение ровное. Почвы супесчаные и структурные глинистые. Увлажнение нормальное. Древостой чисто осиновый, а также с примесью березы или темнохвойных. Полнота 0.7–0.8 (иногда 0.9). Подрост темнохвойный, редкий, подлесок отсутствует. Травяно-кустарничковый ярус обычно мелкотравно-разнотравный, с примесью осочки, вейника, иногда брусники и черники, покрытие 0.2–0.5; запас менее 0.1 кг/м<sup>2</sup>. Моховой покров не развит, не более 0.2; но часто совсем отсутствует. ОПГ – опад только весной, в основном – листья осины, толщина опада 1.5–3 см, запас 0.3 ± 0.5 кг/м<sup>2</sup>, плотность 15–30 кг/м<sup>3</sup>. Летом опад превращается в верхние слои подстилки (А<sub>0</sub>) толщиной до 1 см, плотностью 30–60 кг/м<sup>3</sup>. Подстилка (А<sub>0</sub>) толщиной 1–2 см, плотность 80–150 кг/м<sup>3</sup>, запас от 1 до 3 кг/м<sup>2</sup>.

**10. Кочкарные лощины** (тип ОПГ весной – травяно-ветошный (Тв), летом – беспроводниковый (Бп<sub>1</sub>)).

Местоположение – сырые кочкарные лощины с отдельными деревьями и редкостойными насаждениями (с полнотой до 0.3) различных пород (кроме сосны и осины), обычно в верхьях ручьев. Нанорельеф – кочки около 0,4 м высотой. Между кочками сыро, иногда бывает вода. Подлесок и подрост редкие, бывает смородина (*Ribes* L.), шиповник (*Rosa* L.), подрост ели и пихты. Травяно-кустарничковый ярус – кустарнички отсутствуют. В травостое преобладают осочки и злаки, иногда более 1 м высотой. Покрытие 0.7–0.9; в том числе злаками и осоками 0.5–0.7. Запас травостоя на кочках 0.1–0.2 кг/м<sup>2</sup>. Запас ветоши (с опадом) весной

0.2–0.3 кг/м<sup>2</sup>, толщина слоя до 10 см, плотность 3–4 кг/м<sup>3</sup>. Подстилка – ее запас и плотность различны из-за различных условий образования оторфованной части: от 0.5 до 5 кг/м<sup>2</sup> с плотностью от 15 до 100 кг/м<sup>3</sup> при толщине 4–5 см. Летом горение не может распространяться (тип ОПГ – беспроводниковый (Бп<sub>1</sub>), а весной сухая трава горит очень хорошо (тип ОПГ – травяно-ветошный (Тв)).

**11. Вейниковые и осоково-вейниковые вырубki, недорубы, молодняки** (тип ОПГ весной – травяно-ветошный (Тв), летом – рыхлоопадный (Рх)).

Местоположение повышенное и ровное. Почвы супесчаные и суглинистые. Увлажнение нормальное, реже недостаточное. Категория площадей – осоково-вейниковые вырубki и изреженные (с полнотой менее 0.6) рубками насаждения, молодняки на таких вырубках с сомкнутостью менее 0.6. Травяно-кустарничковый ярус сплошной, покрытие 0.9–1.0; иногда двухъярусный, вейниковый или разнотравно-злаково-осоковый, с преобладанием злаков и осок. Моховой покров отсутствует. Опад из уплотнившейся травяной ветоши и опада деревьев; толщина его до 5 см, запас 0.3–0.5 кг/м<sup>2</sup>, плотность 6–10 кг/м<sup>2</sup>. Подстилка – запас 0.5–1.5 кг/м<sup>2</sup>, плотность 50–60 кг/м<sup>3</sup>, толщина 2–3 см.

**12. Гари и пройденные сильным пожаром насаждения с травяным покровом и недостатком опада** (тип ОПГ весной – травяно-ветошный (Тв), летом – беспроводниковый (Бп<sub>1</sub>)).

Гари, изреженные пожаром насаждения (в период до 5 лет после пожара), покрытые травяной растительностью с преобладанием в ней злаков и осок. Беспроводниковый тип ОПГ (Бп<sub>1</sub>) летом бывает из-за быстрого перегнивания опада при очень малом запасе подстилки.

**Приложение 2. Краткий определитель типов основных проводников горения (типов ОПГ)**

1	<p>Определить подгруппу типа ОПГ: Если проективное покрытие мхов и лишайников составляет 50 % и более – это «мишистой» подгруппа (2А), если менее 50 % – «опадная» (2Б).</p>
2	<p>Определить тип ОПГ в подгруппах:</p>
2А	<p>в «мишистой» подгруппе: по описанию типов ОПГ выбрать один из четырех типов и отметить в карточке таксации его шифр:</p> <p>Лш – лишайниковый: в покрове преобладают кустистые лишайники (кладонии (<i>Cladonia</i> spp.)) или присутствуют на очень сухих почвах вместе с покровом из соснового опада;</p> <p>Сх – сухомышистый: в покрове преобладают зеленые мхи (плевроциума Шребера, гилокомиума блестящего (<i>Hylacomium splendens</i> (Hedw.) Schimp.), дикранума (<i>Dicranum</i> spp.)), иногда с примесью лишайников, на дренированных почвах;</p> <p>Вл – влажно-мишистый: в покрове зеленые мхи с примесью политрихума (кукушкина льна обыкновенного (<i>Politrychum commune</i> Hedw.)) или сфагнума (<i>Sphagnum</i> spp.) на слабодренированных почвах;</p> <p>Бм – болотно-моховый: в покрове сфагновые мхи на заболоченных и болотных почвах или политрихумы (кукушкина льна обыкновенного, политрихума сжатого (<i>Polytrichum strictum</i> Brid.)) на любых почвах;</p> <p>Бм<sub>1</sub> – заболоченные леса и болота среди суходолов (сфагновые типы леса) или преобладание в покрове кукушкина льна обыкновенного (долгомощные типы леса);</p> <p>Бм<sub>2</sub> – крупные массивы верховых сфагновых болот (сфагнумы).</p> <p>Примечание. Типы ОПГ «мишистой» подгруппы не меняют своих свойств в течение пожароопасного сезона. В карточке таксации выбранный тип ОПГ обозначается его шифром (в скобках – цифровой шифр): Лш (101), Сх (102), Вл (103), Бм<sub>1</sub> (104), Бм<sub>2</sub> (105).</p>
2Б	<p>Определение типа ОПГ в «опадной» подгруппе:</p> <p>по описанию типов ОПГ выбрать один из четырех типов и отметить в карточке таксации его шифр:</p> <p>Тв – травяно-ветошный: в покрове преобладают усохшие злаки или осоки, обычно весной и осенью (вейниковые (<i>Calamagrostis</i> spp.), осоковые (<i>Carex</i> spp.), злаковые: мятликовые (<i>Poa</i> spp.), овсяницы <i>Festuca</i> spp.), преобладают усохшие злаки или осоки, обычно весной и осенью (вейниковые, осоковые, злаковые в покрове кукушкина льна (долгомощные типы леса));</p> <p>Рх – рыхлоопадный: в покрове преобладает опад сосны, кедра, рыхлый опад из листвы березы, осины и других лиственных пород весной и осенью; усохшее разнотравье весной и осенью; войлок из осок и злаковой ветоши – летом; покровы из зимнезеленых осочек – весной и осенью;</p> <p>Пл – плотноопадный: в покрове преобладает опад из хвои ели, пихты, лиственницы; уплотненный опад из листвы березы, осины и др. – летом; уплотненный слой усохшего разнотравья – летом;</p> <p>Бп – беспроводниковый: в покрове нет слоев ОПГ, по которым могло бы распространяться пламенное горение;</p> <p>Бп<sub>1</sub> – участки с наличием других, не основных проводников горения (подстилка, дернина, перегнойный горизонт); участки с зеленым травостоем летом, когда запас зеленых трав превышает запас усохших, что исключает распространение пламенного горения;</p> <p>Бп<sub>2</sub> – отсутствуют любые проводники горения (пески, дороги, пашни и т. п.). Такие участки негоримы.</p> <p>Примечание. При лесоустройстве в карточке таксации на первом месте отмечается тип ОПГ весной (осенью) и через косую черту – тип ОПГ – летом. В скобках – цифровой таксационный шифр каждого типа ОПГ. Например: Тв(106)/Рх(107), Тв(106)/Пл(108), Тв(106)/Бп<sub>1</sub>(109), Рх(107)/Пл(108), Рх(107)/Рх(107), Пл(108)/Пл(108), Бп<sub>1</sub>(109)/Бп<sub>2</sub>(110).</p>

## **DEVELOPMENT OF AN IDENTIFIER OF PRIMARY FIRE CARRIERS**

**A. V. Volokitina**

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

---

E-mail: volokit@ksc.krasn.ru

To improve forest fire protection, large-scale vegetation fuel maps (VF) are needed. The technology for creating VF maps was developed at the Sukachev Institute of Forest SB RAS. It includes methods for making maps based on available forest inventory data, in the process of a new forest inventory, in the process of forest planning, or autonomous creation of large-scale VF maps for limited areas using aerial or ultra-high resolution satellite images. To apply any of the above methods, it is necessary to determine the types of primary fire carriers (PFC), the main group of vegetation fuels, which, when sources of fire appear, under certain weather conditions, causes the possibility of the emergence and spread of flame combustion throughout the territory. PFC types are reflected on the map itself, and other VF groups are reflected in the attached pyrological description, which is an abbreviated forestry description and information about a PFC type for each forestry plot, taking into account the critical drought class according to weather conditions and the period of a fire season. The article discusses the methodological issues of developing an identifier of PFC types on the example of Krasnoyarsk Priangar'e, since adaptation is required for its use in other regions. An example of the identifier given was used in the visual inventory during the forest management of a number of nature reserves. The result was a GIS-based information database for prompt creation of large-scale VF maps that can be used to assess the current natural fire hazard depending on weather conditions and to predict the behavior of occurring fires.

**Keywords:** *maps of vegetation fuels, pyrological categories of vegetation areas, interpretation of primary fire carriers types, maps of current natural fire hazard, vegetation fire behavior prediction.*

**How to cite:** *Volokitina A. V. Development of an identifier of primary fire carriers // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 50–62 (in Russian with English abstract and references).*



УДК 630\*181.351+630\*652.4

## ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НАРУШЕННЫХ ПОЖАРАМИ, РУБКАМИ И НАСЕКОМЫМИ-ВРЕДИТЕЛЯМИ НАСАЖДЕНИЙ ПРЕДГОРИЙ ВОСТОЧНОГО САЯНА

Ю. В. Салцевич<sup>1,2</sup>, Л. В. Буряк<sup>1,2</sup>, А. Н. Головина<sup>1</sup>, Е. А. Кукавская<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Центр лесной пирологии, развития технологий охраны лесных экосистем, защиты и воспроизводства лесов – филиал Всероссийского НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства  
660062, Красноярск, ул. Крупской, 42

<sup>2</sup> Сибирский государственный университет науки и технологий  
имени академика М. Ф. Решетнева  
660037, Красноярск, проспект имени газеты «Красноярский рабочий», 31

<sup>3</sup> Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28

E-mail: salcevichyv@firescience.ru, buryaklv@firescience.ru, golovinaan@firescience.ru, kukavskaya@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 31.07.2023 г.

Проведена оценка состояния нарушенных пожарами, рубками и насекомыми-вредителями участков лесных земель в предгорьях Восточного Саяна в присущих району исследования лесных формациях – кедровой (*Pinus sibirica* Du Tour), пихтовой (*Abies sibirica* Ledeb.), сосновой (*Pinus sylvestris* L.), еловой (*Picea obovata* Ledeb.), лиственничной (*Larix sibirica* Ledeb.), березовой (*Betula pendula* Roth), осиновой (*Populus tremula* L.), а также на участках лесных культур. Установлено, что вследствие воздействия пожаров, насекомых-вредителей, рубок и ветровалов происходит ухудшение санитарного состояния лесов. Выявлены закономерности естественного лесовосстановления на нарушенных участках лесных земель. Отмечено, что в результате разрастания густого травяного покрова, образования мощной подстилки, разрастания мха сфагнума (*Sphagnum* L.) и возникновения частых пожаров на большей части нарушенных участков лесных земель отмечается неудовлетворительное лесовосстановление. На участках с достаточным количеством жизнеспособного подроста естественное лесовозобновление происходит вегетативным способом мягколиственными малоценными древесными породами (березой и осинкой), которые, в свою очередь, угнетают молодое неокрепшее поколение хвойных деревьев (в том числе лесных культур) за счет затенения и конкурентной борьбы за почвенные элементы питания.

**Ключевые слова:** нарушенные участки лесных земель, гарь, вырубка, ветровальник, насаждения, нарушенные сибирским шелкопрядом и уссурийским полиграфом, запас лесных горючих материалов, лесовосстановление.

DOI: 10.15372/SJFS20230606

### ВВЕДЕНИЕ

Лесные пожары, рубки и насекомые-вредители в Российской Федерации являются мощными факторами, значительно изменяющими функционирование и состояние лесов (Природопользование..., 2005; Гераськина и др., 2021). Перечисленные факторы нарушают не только

лесные экосистемы, но и наносят серьезный урон экологии и экономике.

В последнее время на территории Российской Федерации отмечается увеличение частоты пожаров и горимости лесов (Думнов и др., 2005; Халявкин, 2013; Зуенко, Родимцев, 2015), вследствие чего происходит сокращение площади, занятой лесными насаждениями (Медведева,

2020; Tyukavina et al., 2022). Из многочисленных природных и антропогенных факторов пожары оказывают доминирующее негативное влияние на продуктивность лесов, их качественную характеристику и динамику лесовосстановительного процесса (Ткаченко, 1911; Мелехов, 1947; Санников, 2002; Иванова, 2005; Арцыбашев, 2014; Усеня, 2015). Возникновение и развитие пожаров тесно связано с рельефом местности (Харук, Пономарев, 2020). В условиях предгорья и гор лесные пожары возникают намного реже, но из-за особенностей распространения огня, сложности в доставке сил и средств для тушения они распространяются на огромных территориях (Адамов и др., 2012). Деревья, оставшиеся на корню, из-за сильных ветров в скором времени вываливаются и (или) ломаются, захламляя территорию и повышая пожарную опасность (Химич, 2009). Многократное распространение пожаров по таким территориям препятствует появлению благонадежного подроста (Симон, 1934; Колесников и др., 1973), снижает качество почвы, приводит к эрозии склонов и нарушению режимов рек. Нередко на таких участках происходит обезлесение (Парамонов, Ишутин, 1999; Куприянов и др., 2003). Однако многие исследователи послепожарное лесовосстановление рассматривают с положительной стороны: создается благоприятная среда для самосева за счет удаления верхнего слоя подстилки; повышаются влажность и температура почвы; уничтожаются или подавляются в росте растения-конкуренты (Фирсова, 1969; Иванова, 2005; Матвеева, Матвеев, 2010; Иванов и др., 2017).

В большинстве стран мира существует острая проблема, заключающаяся в последствиях вырубке лесов, в том числе – рубках лесов с нарушениями и незаконных рубках (Бурдин, 2007). При сплошной рубке деревьев в местах, для этого не предназначенных, в большинстве случаев происходят необратимые процессы в изменении почвенных условий (заболачивание, иссушение территории), что приводит к полному изменению существующей сукцессии (Ткаченко, 1955; Природопользование..., 2005; Рогозин, Картамышева, 2017). Из-за халатности в использовании техники и механизированных приемов на площади погибает молодое поколение древесных пород, нарушается структура почвы. На лесосеках оставляют большое количество порубочных остатков (Технологии..., 2011; Kukavskaya et al., 2013), которые повышают пожарную опасность (Иванов и др. 2009; Kukavskaya et al., 2023). Вследствие рубки дре-

весного полога травяная растительность получает больше света, тем самым образует мощный покров, который каждой весной при просыхании становится хорошим горючим материалом, а также препятствует появлению подроста (Луганский и др., 2005; Лесников, Пшеничникова, 2007; Белов, Вараксина, 2018; Чермных и др., 2018).

Наряду с лесными пожарами и рубками к важнейшим факторам, влияющим на лесообразовательный процесс в лесах Сибири, относятся насекомые-вредители (Исаев, Уткин, 1963; Валендик и др., 2004; Павлов, 2007), среди которых один из наиболее значимых для сибирских темнохвойных лесов – сибирский шелкопряд (*Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov). Вспышки его размножения приводят к полному уничтожению хвои у взрослых деревьев и подроста лиственницы (*Larix* Mill.), кедра (*Pinus sibirica* Du Tour), пихты (*Abies* Mill.), гораздо реже – сосны (*Pinus* L.) и ели (*Picea* A. Dietr.), последующему заболачиванию и интенсивному процессу задернения участков, повышению природной пожарной опасности и возникновению периодических пожаров, уничтожающих почвенный запас семян хвойных пород (Фуряев, 1966, 1979; Павлов, 2007). В последние десятилетия в лесах Европейской части России и в Сибири появился вредитель хвойных лесов – короед полиграф уссурийский (*Polygraphus proximus* Blandford) (Баранчиков и др., 2014). В основном этот вид повреждает взрослые пихтовые средне- и низкобонитетные насаждения, может развиваться на ели и кедре. Нападение уссурийского полиграфа зачастую приводит к полному разрушению древесного яруса пихтового леса (Тараскин, 2013; Кривец и др., 2015; Krivets et al., 2015; Дебков, 2018). Вызываемые трансформации в качественной и количественной структуре древостоев как прямо, так и косвенно – через изменение микроклиматических условий, сказываются и на компонентах биоценоза: подросте, живом напочвенном покрове, составе и структуре энтомофауны (Дебков, 2017).

В целом исследования проблемы по вопросам, касающимся оценки состояния нарушенных участков лесных земель и естественному лесовозобновлению на них, показывают, что в результате воздействия негативных факторов как со стороны природы, так и со стороны человека процесс естественного лесовосстановления лесов на таких участках затягивается не на один десяток лет.

Целью исследований стала оценка состояния нарушенных участков лесных земель, в том числе выявление закономерностей естественного лесовосстановления на них. В условиях предгорья Восточного Саяна состояние нарушенных пожарами, рубками и вредными организмами участков лесных земель, в том числе особенности лесовосстановления на них, мало изучены. Выбранный район представляет интерес, поскольку на его территории отмечено большое разнообразие категорий нарушенности, что обуславливает возможность выявления закономерностей состояния и естественного лесовосстановления на нарушенных различными природными и антропогенными факторами участках лесных земель.

### МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ И ОБЪЕКТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследования входит в состав Восточно-Саянской лесорастительной провинции и находится в Манско-Канском округе горнотаежных и подгольцево-таежных лесов. Экспериментальные пробные площади для оценки нарушенности территорий и успешности естественного лесовосстановления закладывались на территории Саянского, Уярского, Маганского и Манского лесничеств Красноярского края.

Исследования проводили на пробных площадях, которые представляли все лесные формации, присущие предгорьям Восточного Саяна: кедровую (кедр), пихтовую (пихта сибирская – *Abies sibirica* Ledeb.), еловую (ель сибирская – *Picea obovata* Ledeb.), сосновую (сосна обыкновенная – *Pinus sylvestris* L.), лиственничную (лиственница сибирская – *Larix sibirica* Ledeb.), березовую (береза повислая – *Betula pendula* Roth) и осиновую (осина – *Populus tremula* L.). Пробные площади заложили на участках лесных земель, нарушенных пожарами, рубками и насекомыми-вредителями – уссурийским полиграфом и сибирским шелкопрядом, а также в ненарушенных контрольных насаждениях. В различных лесных формациях были созданы следующие пробные площади: кедровая формация – контроль, насаждение, нарушенное сибирским шелкопрядом (шелкопрядник), горельник; пихтовая – контроль, горельник, шелкопрядник, насаждения, нарушенные уссурийским полиграфом (полиграфник); еловая – контроль, вырубка; сосновая – контроль, горельник; лиственничная – контроль, горельник; березовая – контроль, горельник, гарь, вырубка, вырубка/ветровал; осиновая – контроль, горельник. Также исследо-

вания были проведены на нарушенных участках лесных земель, где вследствие отсутствия или затруднения естественного лесовосстановления были созданы кедровые, кедрово-еловые, еловые и сосновые лесные культуры. Пробные площади были заложены на участках лесных культур, созданных на заброшенном сенокосе (далее контроль), на гари и вырубке.

Давность нарушения участков лесных земель уточнялась в лесничествах. При обследовании нарушенных участков лесных земель применялся типичный выборочный метод наблюдения. При выполнении работ по закладке и описанию пробных площадей использовали общепринятые методы В. Н. Сукачева и С. В. Зона (1961), таксацию древостоев и обработку данных проводили по методикам, описанным Н. П. Анучиным (1982). Участки, представленные крупными гарями и прогоревшими рубками, обследовали в соответствии с методикой, приведенной в Лесоустроительной инструкции (2022). Размер пробной площади устанавливали на основании того, чтобы в ее границах присутствовало не менее 200 деревьев основного элемента леса. Для изучения состояния древостоев определяли следующие показатели: породу дерева, диаметр, высоту, максимальную и минимальную высоту нагара, процент повреждения кроны огнем и насекомыми-вредителями (степень объедания кроны филофагами), наличие огневых и (или) иных повреждений (вылетные отверстия, маточные-личиночные ходы насекомых-ксилофагов под корой) ствола и корней. Санитарное состояние деревьев и насаждений оценивали в соответствии со шкалой категорий санитарного состояния деревьев, приведенной в «Правилах санитарной безопасности в лесах» (2020). Очагом уссурийского полиграфа считался участок леса, в котором запас древесины заселенных стволовыми вредителями деревьев превышал 10 % (Приказ..., 2017).

Отдельно, путем перече́та вывалившихся деревьев, методом пересеченных линий на 15 5-метровых трансектах учитывали захлапленность пробных площадей (упавший древесный горючий материал (УДГМ)), показатели которой пересчитывали в тоннах на гектар (Van Wagner, 1968; McRae, 2006).

Подрост и самосев на пробных площадях учитывали в соответствии с «Правилами лесовосстановления» (Приказ..., 2021) и рекомендациями А. И. Бузыкина и А. В. Побединского (1963). Количество учтенного подроста пересчитывали на 1 га, при этом подрост переводили посредством введения поправочных коэффици-

ентов 0.5 (для мелкого), 0.8 (для среднего) и 1.0 (для крупного подроста) в крупный (Приказ..., 2021).

При описании травяно-кустарничкового яруса указывали степень покрытия отдельными видами по шкале Друде (Блукет, Емцев, 1974).

Запасы напочвенных лесных горючих материалов (ЛГМ) определяли с использованием методических подходов Н. П. Курбатского (1970, 1972). Для этих целей использовали рамку размером  $0.2 \times 0.25$  м, для травяного покрова –  $0.5 \times 0.5$  м. При взятии ЛГМ разделение было по следующим фракциям: травяной покров, опад, мох, лесная подстилка. В лабораторных условиях в термошкафу при температуре  $105^\circ\text{C}$  высушивали все имеющиеся фракции с каждой пробной площади до постоянной массы.

Всего с 2018 по 2022 г. заложили 41 пробную площадь, из которых по 6 шт. приходится на кедровую и пихтовую формации, 5 – на лиственничную, по 2 – на еловую и сосновую, 7 – на березовую, 3 – на осиновою, а также 10 на лесные культуры.

Расположены пробные площади на склонах различной экспозиции (Ю, ЮВ, ЮЗ, С, СВ, СЗ) с крутизной от  $0$  до  $20^\circ$ , высота варьирует от 300 до 550 м над ур. м. Исследуемые участки лесных земель в границах предгорья Восточного Саяна характеризуются следующими почвенными условиями: суглинки легкие свежие в лесных культурах, суглинки средние влажные в кедровниках, в лесных культурах, части лиственничников, березняков и осинников и свежие в березняках, части кедровников и лесных культур, суглинки тяжелые свежие и влажные в ельниках, сосняках и лесных культурах.

Основные лесоводственно-таксационные характеристики контрольных древостоев и древостоев (групп деревьев) на нарушенных участках лесных земель приведены в табл. 1.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Оценка состояния древостоев.** Большая часть пробных площадей (60 %) представлена горящими и горельниками, пройденными низовыми беглыми (62.5 %), низовыми устойчивыми (33.3 %) и верховыми (4.2 %) пожарами. В обследованных ненарушенных насаждениях (контроль) преобладают деревья без признаков ослабления (здоровые), и в соответствии с шкалой категорий состояния деревьев большая их часть относится к 1 категории санитарного состояния (Правила..., 2020).

В древостоях отмечен только естественный отпад, как правило, перестойных деревьев, доля которых варьируется от 3 до 7 % от общего запаса насаждения. Средневзвешенная категория санитарного состояния исследованных ненарушенных насаждений составила 1.27–1.36, что характеризует их как лесные насаждения без признаков ослабления.

Насаждения до воздействия огня характеризовались одноярусностью, отсутствием подлеска и незначительным количеством подроста (менее 3 тыс. шт./га не крупного подроста), что препятствовало развитию верховых пожаров. Отпад деревьев после воздействия низовых беглых и устойчивых пожаров средней силы и сильных составил от 8 до 50 % от общего запаса. В насаждениях, где пожары приобретали устойчивую форму, у некоторых деревьев темнохвойных пород (3 % от общего числа деревьев) отмечается полное прогорание корневых лап. В березовой, осиновой и кедровой формациях, где пожары развивали высокую интенсивность, максимальная высота нагара достигала 8–10 м. В свежих горельниках березового насаждения на стволах отмечаются дегтевые подтеки, в кедровой, спустя 5 лет – засмоление части ствола на участке нагара. На горящих и горельниках средневзвешенная категория состояния насаждений варьирует от  $1.57 \pm 0.14$  (ослабленные насаждения) до  $2.87 \pm 0.36$  (сильно ослабленные насаждения) в зависимости от вида и силы пожара.

В лесных культурах, пройденных пожарами, вне зависимости от характеристик пожара отмечается их полная гибель. В первую очередь это связано с небольшой высотой культурных растений на преобладающей части обследованных участков (от 20 до 210 см) при значительной высоте травяно-кустарничкового покрова. Кроме того, вследствие отсутствия мощной корки на стволиках молодое поколение очень чувствительно к воздействию огня, что ранее было отмечено Ю. Н. Ильичевым (2010). В лесных культурах кедра, где его средняя высота составляла 6.5 м, зарегистрирован верховой пожар.

Незначительную степень повреждения пожарами большей части исследованных насаждений можно объяснить прежде всего тем, что в предгорной части Восточного Саяна, где доминируют насаждения с травяным покровом, пожары чаще распространяются в весенний период и характеризуются беглой формой без заглупления огня в подстилку. Высокая полнота хвойных древостоев и недостаток освещения

**Таблица 1.** Лесоводственно-таксационные характеристики пробных площадей

Формация	Категория участка	Давность нарушения, лет	Состав	$H_{cp}$ , м	$D_{cp}$ , см	$A$ , лет	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> /Га
Березовая	Контроль	–	8Б2Лц	22 ± 2	28 ± 4	80	0.7	267.5
	Горельник	1	7Б2С1Лц	23 ± 1.5	30 ± 2	85	0.6	174.8
	»	Ежегодно	5Б3Ос1Лц1С	21 ± 2	24 ± 4	56	0.4	116.1
	Гарь	12 лет						
	Вырубка	12	4Б3Ос2Лц1С	17 ± 1.5	20 ± 2	48	0.2	97.9
	Вырубка / ветровал	22	6Б2Лц2Ос	20 ± 1	18 ± 2	44	0.3	86.2
Осиновая	Вырубка / ветровал	32/5	6Б4Лц	16 ± 1.5	16 ± 2	35	0.3	39.7
	Вырубка горевшая	40/38	8Б2Лц	23 ± 1.5	30 ± 4	70	0.4	110.1
	Контроль	–	6Ос3Б1К	22–24	24–28	80	0.9	297.0
	Горельник	5	6Ос2К2Б	23 ± 1.5	32 ± 4	80	0.7	259.9
	»	30	8Ос2Лц+К	23 ± 5	31 ± 5	90	0.3	114.1
Кедровая	Контроль	–	10Кед.Лц, Б	23 ± 1	24 ± 3	95	0.7	350.0
	Горельник	5	7К3Б+Лц	14 ± 0.5	14 ± 2	38	0.6	112.6
	»	8	4К5Лц1Е+П	24 ± 1	30 ± 2	130	0.8	437.0
	»	8	7К3Еед.П	25 ± 0.5	30 ± 4	120	1.0	591.0
	»	30	5К3П2Ос	25 ± 1	32 ± 4	160	0.3	99.2
	Шелкопряdnик	7	5Лц4Б1П	25 ± 1.5	26 ± 4	110	0.3	161.7
Пихтовая	Контроль	–	8П2Ос+Б	19–23	20–26	100	0.7	289.8
	Горельник	5	6П4К	21 ± 1	22 ± 2	85	0.6	157.9
	Шелкопряdnик	6	7Б2Ос1П	24 ± 1	26 ± 2	124	0.3	83.6
	Полиграфник	7	10П	25 ± 1.5	24 ± 2	110	0.4	75.6
	»	10	9П1Б	24 ± 1	26 ± 2	100	0.6	145.7
	»	12	ед.Б, Ос	26 ± 1	28 ± 4	90	ниже 0.1	18.7
Еловая	Контроль	–	6Е2К2Б	19 ± 1	18 ± 2	55	0.5	80.6
	Вырубка	6	7Е2Б1С	21 ± 0.5	24 ± 2	110	0.3	92.7
Сосновая	Контроль	–	8С2Б+Ос	22 ± 0.5	26 ± 2	110	0.9	314.0
	Горельник	1	10С+Б, Лц	11 ± 0.5	12 ± 2	14	0.7	41.6
Лиственничная	Контроль	–	5Лц4Б1Ос	21–24	26–32	230	0.6	207.0
	Горельник	3	10Лц	19 ± 0.5	24 ± 2	30	0.5	177.0
	»	8	5Лц3К2Е+Б	25 ± 1	36 ± 4	145	0.8	287.0
	»	20	9Лц1Б	23 ± 1	28 ± 4	75	0.7	221.8
	»	30	7Лц3Б	26 ± 1.5	34 ± 4	100	0.3	104.4

Примечание. К – кедр, С – сосна, Лц – лиственница, Е – ель, П – пихта, Б – береза, Ос – осина.

в этих насаждениях препятствуют развитию живого напочвенного покрова, поэтому запас рыхлого опада невелик и пожары чаще характеризовались слабой силой. В связи с этим послепожарный отпад в нарушенных пожарами древостоях незначителен и пройденные пожарами насаждения представлены горельниками, а не гарями. В березовом насаждении, где травяной покров более развит и вследствие отсутствия листвы в весенний период быстро просыхает, пожары развивали высокую интенсивность, что привело к значительной степени повреждения древостоев.

Оценивая последствия воздействия уссурийского полиграфа и сибирского шелкопряда на пихтовые и кедровые формации, можно отметить то, что вследствие повреждения этих насаждений произошло резкое изменение в составе древостоев, их полноте и запасе (табл. 1). В составе древостоя отмечается практически полное отсутствие живых деревьев пихты (отпад 90–100 %) и полное отсутствие кедра после вспышки массового размножения сибирского шелкопряда (отпад 100 %). Средневзвешенная категория состояния этих насаждений составляет от  $3.56 \pm 0.27$  до  $4.73 \pm 0.48$  и в соответ-

ствии с этим древостои относятся к усыхающим и погибшим насаждениям (Правила..., 2020). Полнота в шелкопрядниках сократилась более чем на 60 %, запас – на 57 %. В полиграфниках отмечается снижение полноты на 38–100 %.

По результатам обследования пробных площадей выявлено, что при уничтожении сибирским шелкопрядом хвой пихты и кедра деревья начинают погибать уже в год дефолиации. В последующие годы большая часть сухостойных деревьев повреждается насекомыми-ксилофагами.

Исследуемые пробные площади, нарушенные пожарами, рубками и насекомыми-вредителями, характеризуются сильной захламенностью. Вследствие снижения полноты древостоев до редины, в особенности на участках крутых склонов (10–20°), возникают ветровалы. В основном отмечается вывал перестойных деревьев. Например, на пробной площади березовой формации на крупнотравной вырубке 1990 г. через 25 лет произошел вывал перестойных деревьев лиственницы сибирской, отпад которой по запасу составил 12.4 %. Кроме того, при падении крупных деревьев были повреждены рядом растущие 25-летние лиственницы (облом верхушки), а также подрост березы и лиственницы.

В целом при обследовании участков лесных земель, нарушенных пожарами, вырубками и насекомыми-вредителями, в границах предгорья Восточного Саяна наблюдается значительное ухудшение санитарного состояния насаждений. При этом древостои, поврежденные сибирским шелкопрядом и уссурийским полиграфом, характеризуются худшим санитарным состоянием, по сравнению с древостоями, поврежденными пожарами.

#### **Характеристика напочвенного покрова.**

В предгорьях Восточного Саяна преобладают леса с травяным покровом (Смагин и др., 1980), в связи с чем большая часть пробных площадей (55 %) была заложена в насаждениях разнотравных и крупнотравных типов леса. Кроме того, в осиновой, кедровой, сосновой и лиственничной формациях исследования проводились в насаждениях зеленомошных (8 % от общего количества пробных площадей), чернично-зеленомошных (10 %), зеленомошно-разнотравных (10 %) и мшисто-разнотравных (17 %) типов леса.

Для крупнотравной и разнотравной групп типов леса характерно развитие густого двух- и трехъярусного травяно-кустарникового покрова, который в первом ярусе представлен орляком обыкновенным (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn), борщевиком сибирским (*Heracleum sphondylium*

subsp. *sibiricum* (L.) Simonk.), клопогоном вонючим (*Actaea cimicifuga* (Schipcz.) J. Compton), во втором ярусе – медуницей мягкой (*Pulmonaria mollis* Wulfen ex Hornem.), осокой вздутоносой (*Carex rhynchophysa* C. A. Mey.), костяникой каменистой (*Rubus saxatilis* L.), геранью лесной (*Geranium sylvaticum* L.) и представителями семейства бобовых (Fabaceae), в третьем ярусе – майником двулистным (*Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt), земляникой лесной (*Fragaria vesca* L.), фиалкой Рейхенбаха (*Viola reichenbachiana* Jord. ex Boreau). На участках земель зеленомошной группы типов леса распространены мхи – гилокомиум блестящий (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp.) и плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Wild. ex Brid.) Mitt.), различные виды разнотравья, кустарнички брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.), костяники каменистой и др. В табл. 2 представлены видовой состав и обилие видов по шкале Друде для сосновой и лиственничной формаций.

В связи с увеличением освещенности вследствие значительного отпада деревьев на нарушенных участках наблюдается разрастание вейника наземного и сорных видов трав: осота полевого, одуванчика лекарственного, лютика едкого. Поселение сорных видов трав на нарушенных лесных участках обусловлено тем, что значительная часть пробных площадей располагается вблизи сельскохозяйственных земель. Вследствие разрастания густого травяного покрова возникает конкуренция между растениями за почвенные элементы питания. Кроме того, высокий травяной покров угнетает мелкий и средний подрост.

Развитие напочвенного покрова на нарушенных участках лесных земель является неотъемлемой частью в формировании естественного восстановления леса. Кроме того, запасы напочвенного покрова определяют вероятность возникновения и распространения пожаров на нарушенных участках лесных земель и их возможную интенсивность. В связи с этим на пробных площадях изучен и оценен запас напочвенного покрова (рис. 1).

Наибольший запас напочвенного покрова (159 т/га) наблюдается в березовой формации на несплошной вырубке, после которой произошел ветровал. На горельниках в березовой формации отмечается более низкий запас напочвенного покрова (21 т/га), что обусловлено частым прохождением пожаров на участках (до ежегодных). Такие насаждения чаще всего встречаются на территории Саянского лесничества (из книги

**Таблица 2.** Видовой состав и обилие видов живого напочвенного покрова в сосновой и лиственничной формациях

Вид растения	Тип леса, вид нарушенности						
	Контроль С ртр	С тр-зм (горельник)	Контроль Лц зм-ртр	Лц мш-ртр (горельник)	Лц мш-ртр (горельник)	Лц черн. (горельник)	Лц ртр (горельник)
Тысячелистник обыкновенный ( <i>Achillea millefolium</i> L.)	Sol	Sp	Sp	Sp	Sp	–	Sp
Лисохвост луговой ( <i>Alopecurus pratensis</i> L.)	Sp	Sol	Sol	Sol	–	–	Sol
Вейник наземный ( <i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth)	Sp	–	Sol	Sol	–	–	Sp
Осока большехвостая ( <i>Carex macroura</i> Meinsh.)	Sol	Cop <sup>1</sup>	–	Sol	Sol	–	Sol
Клопогон вонючий	Sp	Sp	–	Sol	–	–	Sp
Хвощ луговой ( <i>Equisetum pratense</i> Ehrh.)	–	Sp	Sp	Sp	–	–	–
Таволга обыкновенная ( <i>Filipendula vulgaris</i> Moench)	Sp	–	Sol	–	–	–	–
Земляника лесная	Sol	Sol	Sp	Sol	–	–	Sp
Борщевик сибирский	Sp	Sol	Sol	–	–	–	Sol
Яснотка пурпурная ( <i>Lamium purpureum</i> L.)	Sp	Sol	–	–	–	–	Sol
Люцерна посевная ( <i>Medicago sativa</i> L.)	Sol	Sol	–	–	Sol	–	–
Тимофеевка луговая ( <i>Phleum pratense</i> L.)	Sp	Sol	Sol	Sol	Sol	–	Sp
Зопник клубненосный ( <i>Phlomis tuberosa</i> (L.) Moench)	–	–	Sp	–	–	–	Sp
Орляк обыкновенный	Sp	Sp	Sol	Sol	Sol	Sol	Sol
Медуница мягкая ( <i>Pulmonaria mollis</i> Wulfen ex Hornem.)	Sp	–	Sp	–	Sp	–	Sp
Лютик едкий ( <i>Ranunculus acris</i> L.)	Sol	Sol	–	–	–	–	Sol
Кровохлебка лекарственная ( <i>Sanguisorba officinalis</i> L.)	Sp	Sp	Sp	–	Sp	–	Sp
Козелец приземистый ( <i>Scorzonera humilis</i> L.)	Sp	Sp	–	Sp	–	–	Sp
Осот полевой ( <i>Sonchus arvensis</i> L.)	–	Cop <sup>1</sup>	–	Sp	Sp	–	Cop <sup>1</sup>
Сфагнум ( <i>Sphagnum</i> L.)	Sol	Cop <sup>1</sup>	Cop <sup>1</sup>	Cop <sup>1</sup>	Cop <sup>1</sup>	Sol	Sp
Одуванчик лекарственный ( <i>Taraxacum officinale</i> (L.) Webb ex F. H. Wigg.)	Sol	–	Sol	Sp	Sol	Sol	Sol
Василистник простой ( <i>Thalictrum simplex</i> L.)	Sol	–	Sp	–	–	–	–
Крапива двудомная ( <i>Urtica dioica</i> L.)	Sp	–	Sp	Sp	Sp	–	Sp
Черника обыкновенная ( <i>Vaccinium myrtillus</i> L.)	–	–	–	–	Sol	Cop <sup>2</sup>	–
Горошек мышиный ( <i>Vicia cracca</i> L.)	Sp	Sol	Sol	Sol	Sp	–	Sp

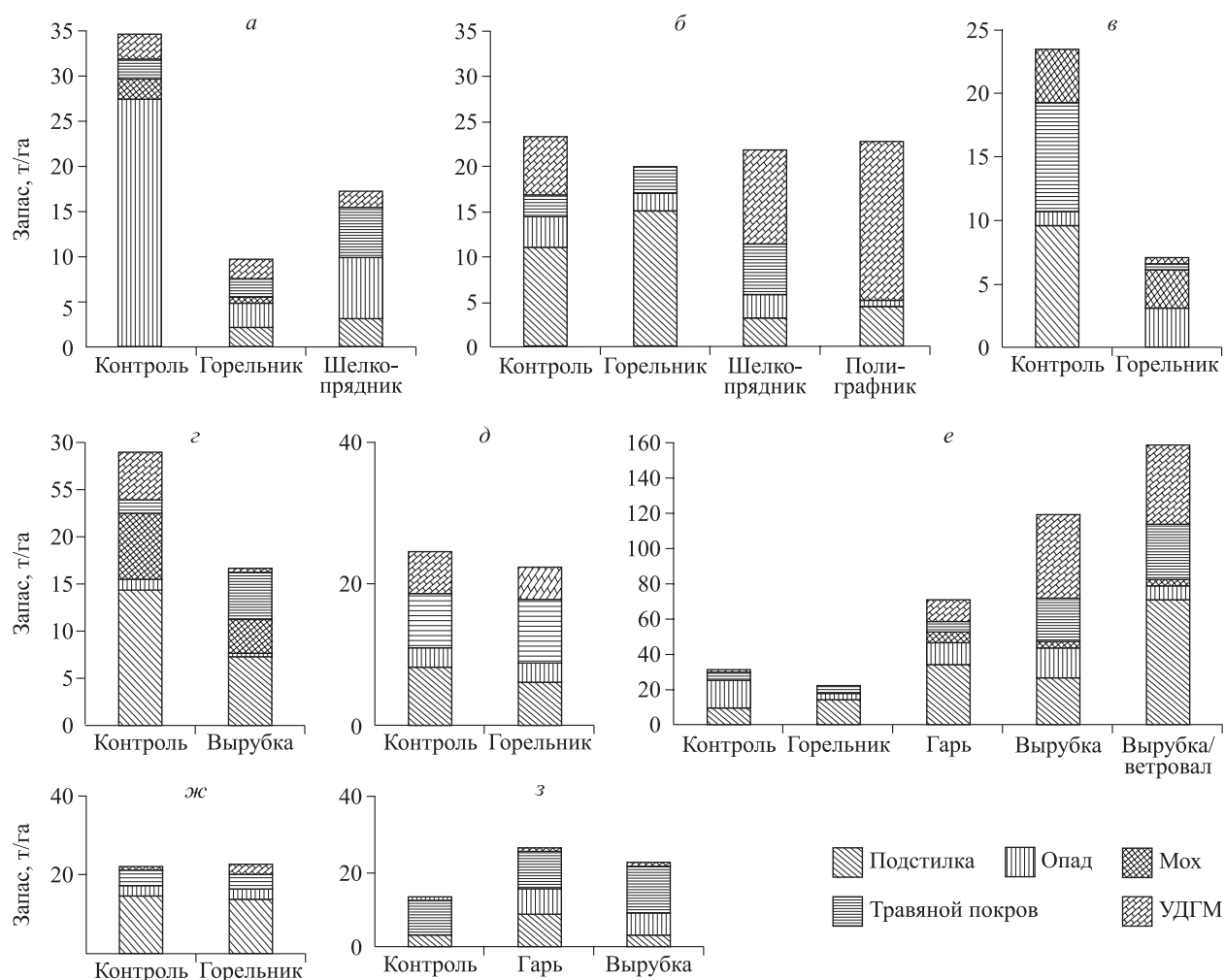
*Примечание.* С – сосняк; Лц – лиственница. Обилие видов: Sol – единично; Sp – редко; Cop<sup>1</sup> – довольно обильно; Cop<sup>2</sup> – обильно (Блукет, Емцев, 1974). Типы леса: ртр – разнотравный; тр-зм – травяно-зеленомошный; зм-ртр – зеленомошно-разнотравный; мш-ртр – мшисто-разнотравный; черн. – черничный.

учета лесных пожаров). В ненарушенном пихтовом насаждении и шелкопряднике основной запас приходится на опад (80 и 40 % соответственно), тогда как в других формациях в запасе напочвенного покрова преобладает подстилка (от 40 до 65 %).

Во всех лесных формациях (особенно в сосновых, еловых, лиственничных) наблюдается невысокий запас опада, за исключением кедровой формации. За счет влажных почвенных условий участков и доминирования моховых типов леса опад быстро разлагается. Запас мохового покрова наиболее значителен в еловой формации, где он достигает 7 т/га на контрольном участке и 4 т/га на вырубке.

Запасы упавших древесных горючих материалов на большей части изученных участков незначительны, а на вырубках в березняках, горяч и ветровальниках – 35–47 т/га, в пихтарниках после воздействия полиграфа уссурийского и шелкопряда сибирского в первые несколько лет после усыхания запасы УДГМ незначительны и составляют 10–17 т/га. На вырубке еловой формации проведена расчистка участка от порубочных остатков. Так как площадь подготавливается к созданию лесных культур, запасы УДГМ составляют всего 0.5 т/га.

В кедровой формации в шелкопрядниках были проведены санитарно-оздоровительные мероприятия по очистке площади от захлам-



**Рис. 1.** Запас напочвенного покрова в зависимости от лесной формации и категории участка.

Формация: *а* – кедровая, *б* – пихтовая, *в* – сосновая, *г* – еловая, *д* – лиственничная, *е* – березовая, *ж* – осиновая, *з* – лесные культуры.

ленности, где запасы УДГМ составляют около 2 т/га.

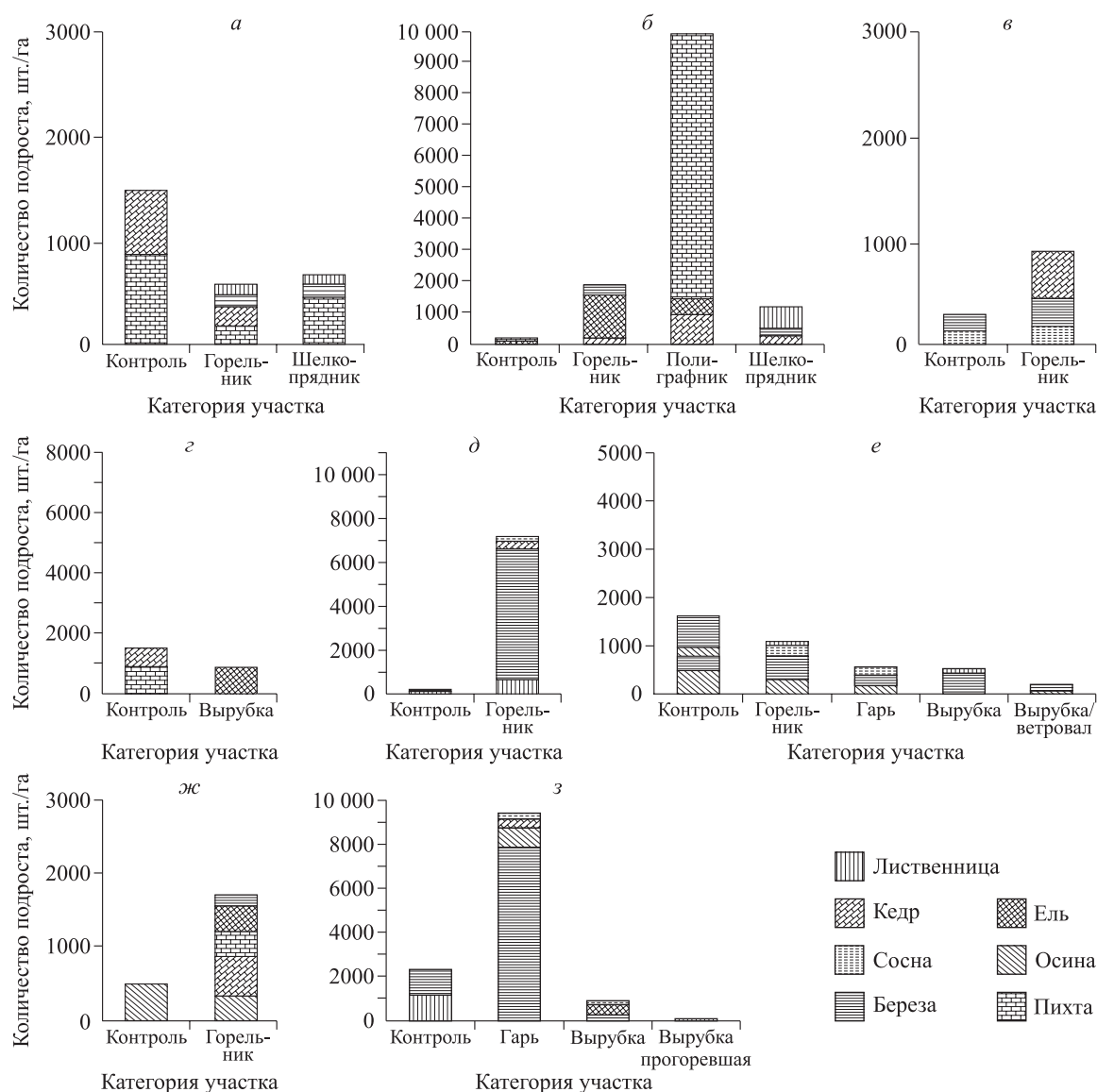
Подлесок на пробных площадях встречается очень редко и характеризуется равномерным размещением. В основном он представлен черемухой обыкновенной (*Prunus padus* Mill), рябиной обыкновенной (*Sorbus aucuparia* L.), яблоней лесной (*Malus sylvestris* (L.) Mill), шиповником собачим (*Rosa canina* L.) и ивой козьей (*Salix caprea* L.).

В целом можно отметить, что на нарушенных участках лесных земель наблюдается разрастание густого трехъярусного травяного покрова, характеризующегося значительными запасами (до 30 т/га в березовой формации в категории вырубка/ветровал), а на участках кедровой, лиственничной, сосновой и еловой формациях – сохранение значительных запасов мохового покрова (сфагнума). В лесных формациях на гарях, горельниках и вырубках в запасе

напочвенного покрова преобладает подстилка. Исключением являются ненарушенное кедровое насаждение и шелкопрядики, где основной запас приходится на опад, составляющий в общем запасе напочвенного покрова 80 и 40 %, соответственно. После прохождения огня изменяется видовой состав живого напочвенного покрова: разрастается вейник и появляются сорные виды трав. Разрастание травяного покрова, задерживающего почву, и сохранение мощного слоя мха и подстилки препятствуют успешному естественному лесовосстановлению. Кроме того, накопление больших запасов травяной ветоши повышает природную пожарную опасность участков лесных земель.

**Лесовосстановление на нарушенных участках лесных земель.** Обследование естественного лесовосстановления на нарушенных участках, относящихся к гарям, горельникам, вырубкам, ветровалям, шелкопрядикам и части на-





**Рис. 2.** Количество подроста по породам в зависимости от лесной формации и категории участка. Формация: а – кедровая, б – пихтовая, в – сосновая, г – еловая, д – лиственничная, е – березовая, ж – осиновая, з – лесные культуры.

саждений, поврежденных полиграфом уссурийским, показало, что количество благонадежного подроста на большинстве исследованных участков, согласно действующим правилам лесовосстановления (Приказ..., 2021) недостаточно для успешного естественного лесовосстановления (рис. 2).

На третьей части исследуемых пробных площадей, представленных гарями, горельниками и вырубками в лиственничной, березовой и еловой формациях лесовосстановление происходит за счет вегетативного размножения малоценных мягколиственных пород.

В обследованных насаждениях, поврежденных полиграфом уссурийским, отмечается успешное лесовозобновление пихтой, кедром и

елью (10 тыс. шт./га). Часть подроста этих пород появилась в насаждении еще до нарушения пихтовой формации *P. proximus*.

За счет особенности в биологии насекомого-вредителя усыхание деревьев происходит поэтапно, при этом усыхает только пихта, а остальная часть древостоя остается неповрежденной, что создает благоприятные условия для дальнейшего поселения подроста. Вследствие поэтапного поселения подроста темнохвойных пород на нарушенном участке сформировался двухъярусный благонадежный подрост, в настоящее время не поврежденный уссурийским полиграфом. О том, что подрост пихты диаметром менее 6 см уссурийский полиграф не заселяет, ранее отмечали С. А. Кривец с соавт. (2015).

На всех нарушенных участках лесных земель кедровой, пихтовой (за исключением полиграфников), еловой, сосновой, березовой и осиновой формациях, в контрольных группах всех лесных формаций количество подроста не превышает 3 тыс. шт./га, что обусловлено высокой степенью зарастания участков густым трехъярусным травяным покровом, который препятствует поселению и росту подроста.

Помимо хорошо развитого травяного покрова, на значительной части нарушенных участков и в ненарушенных насаждениях прорастанию семян препятствует мощная подстилка и моховой покров (прежде всего – сфагнум), запасы которых на большей части исследуемых пробных площадей достигают от 7 до 14 т/га (см. рис. 1).

В исследуемом регионе на нарушенных участках лесных земель ежегодно создаются лесные культуры хвойных пород. Площадь созданных лесных культур, к примеру в Саянском лесничестве Красноярского края, ежегодно варьируется от 70 до 90 га. Следует отметить, что они часто подвергаются воздействию огня, в результате которого погибает все молодое поколение. Площадь сгоревших лесных культур в отдельные годы в 3 раза превышает площадь ежегодных посадок. Например, в 2020 г. площадь сгоревших лесных культур только в Саянском лесничестве превысила 250 га (сведения из книги учета лесных пожаров). Вблизи со стеной леса на участках погибших культур, как правило, наблюдается поселение подроста березы и осины семенного происхождения. Следует отметить и то, что на большей части исследуемых лесных культур наблюдается развитие березового подроста, который поселяется в рядах с культурами. Зачастую насчитывается до 9 тыс. шт./га благонадежных экземпляров березы. В результате происходит угнетение лесных культур хвойных пород вследствие затенения и конкурентной борьбы за почвенные элементы питания.

В целом можно отметить, что на большей части нарушенных участков лесных земель в границах предгорья Восточного Саяна естественное возобновление затруднено и количества поселившегося подроста недостаточно для успешного естественного лесовосстановления. Кроме того, на нарушенных участках лесных земель отмечается частое распространение пожаров, приводящих к гибели поселившийся подрост и созданные лесные культуры, что также препятствует успешному лесовосстановлению.

Удовлетворительное естественное лесовосстановление в регионе отмечается только в пихтовой формации после воздействия *P. proximus*.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предгорьях Восточного Саяна вследствие воздействия пожаров, вредоносных насекомых (шелкопряда сибирского и полиграфа уссурийского), рубок и ветровалов происходит ухудшение санитарного состояния всех представленных в регионе лесных формаций. При этом худшее санитарное состояние отмечается в насаждениях, нарушенных сибирским шелкопрядом и уссурийским полиграфом, по сравнению с насаждениями, поврежденными пожарами, что прежде всего обусловлено весенним пиком горимости, характерным для предгорий Восточного Саяна, и развитием беглых пожаров, наносящих незначительный вред лесным экосистемам.

Вследствие зарастания густого травяного покрова, вывала части поврежденных деревьев и значительных запасов порубочных остатков, нарушенные участки лесных земель в регионе исследования характеризуются высокой пожарной опасностью и частой повторяемостью пожаров.

Разрастание густого трехъярусного травяного покрова и неполное прогорание мхов на переувлажненных почвах, а также повторные пожары препятствуют успешному естественному лесовосстановлению на нарушенных участках лесных земель, а созданные лесные культуры также зачастую уничтожаются лесными пожарами. Кроме того, успешному росту и развитию лесных культур в регионе препятствует поселение в рядах хвойных культур густого березового подроста.

В складывающихся в регионе условиях существует необходимость не только в проведении мероприятий по искусственному лесовосстановлению, но и в обеспечении мер их охраны от пожаров, а также в проведении своевременных мероприятий по уходу за лесными культурами.

*Исследования Е.А. Кукавской поддержаны базовым проектом ФИЦ КНЦ СО РАН № 0287-2021-0041.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Адамов М. Г., Адамова Р. М., Багандов Ш. Б., Гамзатова Х. М. Лесные пожары и актуальные проблемы лесовосстановления на гарях // Лесн. вестн. 2012. № 7. С. 25–28.

- Анучин Н. П. Лесная таксация: Учеб. для вузов. 5-е изд. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 552 с.
- Арцыбашев Е. С. Влияние пожаров на лесные биогеоценозы // Биосфера. 2014. Т. 6. № 1. С. 53–59.
- Баранчиков Ю. Н., Демидко Д. А., Лантев А. В., Петько В. М. Динамика отмирания деревьев пихты сибирской в очаге уссурийского полиграфа // Лесн. вестн. 2014. Т. 18. № 6. С. 132–138.
- Белов Л. А., Вараксина Р. А. Лесообразовательный процесс на сплошных вырубках Сысертского лесничества // Леса России и хоз-во в них. 2018. № 3 (66). С. 37–44.
- Блукет Н. А., Емцев В. Т. Ботаника с основами физиологии растений и микробиологии. 2-е изд. М.: Колос, 1974. 560 с.
- Бузыкин А. И., Побединский А. В. К вопросу учета подроста и самосева // Тр. Ин-та леса и древесины СО АН СССР, 1963. С. 185–191.
- Бурдин Н. А. О проблеме нелегальных рубок леса // Лесн. вестн. 2007. № 3. С. 27–32.
- Валендик Э. Н., Верховец С. В., Кисляхов Е. К. Роль шелкопрядников в горимости лесов Нижнего Приангарья // Лесн. хоз-во. 2004. № 6. С. 27–29.
- Восстановление лесных экосистем после пожаров / А. Н. Куприянов, И. Т. Трофимов, В. И. Заблоцки и др. Кемерово: КРЭОО ИРБИС, 2003. 262 с.
- Гераскина А. П., Тебенькова Д. Н., Еришов Д. В., Ручинская Е. В., Сибирцева Н. В., Лукина Н. В. Пожары как фактор утраты биоразнообразия и функций лесных экосистем // Вопр. лесн. науки. 2021. Т. 4. № 2. Ст. № 82. 76 с.
- Дебков Н. М. Природный потенциал возобновления в пихтовых лесах, поврежденных в ходе инвазии уссурийского полиграфа // Лесотех. журн. 2017. Т. 7. № 1 (25). С. 58–68.
- Дебков Н. М. Закономерности изменения структуры пихтовых лесов, поврежденных в результате инвазии уссурийского полиграфа // Лесотех. журн. 2018. Т. 8. № 1 (29). С. 13–22.
- Думнов А. Д., Максимов Ю. И., Роцупкина Ю. В., Аксенова О. А. Лесные пожары в Российской Федерации: Стат. справ. / под ред. А. Д. Думнова и Н. Г. Рыбальского. М.: НИИ-Природа, 2005. 229 с.
- Зуенко В. А., Родимцев А. С. Проблемы тушения лесных пожаров в Российской Федерации // Агротехника и энергообеспечение. 2015. № 3 (7). С. 95–107.
- Иванов В. А., Иванова Г. А., Бакшеева Е. О. Послепожарное возобновление в светлохвойных насаждениях Красноярского края // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2017. Т. 3. № 2. С. 240–244.
- Иванов В. А., Москальченко С. А., Пономарев Е. И. Влияние нарушенных лесных территорий на частоту пожаров в Нижнем Приангарье // Хвойные бореал. зоны. 2009. Т. 26. № 2. С. 249–254.
- Иванова Г. А. Зонально экологические особенности лесных пожаров в сосняках Средней Сибири: автореф. дис. ... д-ра биол. наук: 06.03.03. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2005. 40 с.
- Ильичев Ю. Н. вопросу пожароустойчивости и выживаемости культур сосны после низовых пожаров // Гео-Сибирь. 2010. Т. 3. № 2. С. 215–218.
- Исаев А. С., Уткин А. И. Низовые пожары в лиственных лесах Восточной Сибири и значение стволовых вредителей в послепожарном состоянии древостоя // Защита лесов Сибири от насекомых вредителей. М.: Изд-во АН СССР, 1963. С. 118–183.
- Колесников Б. П., Санникова Н. С., Санников С. Н. Влияние низового пожара на структуру древостоя и возобновление древесных пород в сосняке-черничнике и бруснично-черничном // Горение и пожары в лесу. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1973. С. 301–321.
- Кривец С. А., Бисирова Э. М., Керчев И. А., Пац Е. Н., Чернова Н. А. Трансформация таежных экосистем в очаге инвазии полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandf. (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) в Западной Сибири // Рос. журн. биол. инваз. 2015. № 1. С. 41–63.
- Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии: сб. ст. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
- Курбатский Н. П. Терминология лесной пирологии // Вопросы лесной пирологии: сб. ст. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1972. С. 171–231.
- Лесников С. М., Пишеничникова Л. С. Лесовосстановительный процесс на сплошных вырубках в пихтовых лесах Восточного Саяна // Хвойные бореал. зоны. 2007. Т. 24. № 4–5. С. 461–466.
- Луганский Н. А., Залесов С. В., Абрамова Л. П., Степанов А. С. Естественное лесовосстановление в Джабык-Карагайском бору // ИВУЗ. Лесн. журн. 2005. № 3. С. 49–53.
- Матвеева Т. А., Матвеев А. М. Лесовозобновительные выжигания в светлохвойных лесах. Красноярск: Ин-т повышения квалификации руководящих работников и специалистов лесн. хоз-ва Сибири и Дальнего Востока, 2010. 223 с.
- Медведева А. В. Лесные пожары как экологическая проблема // Молодой ученый. 2020. № 18 (308). С. 223–224.
- Мелехов И. С. Природа леса и лесные пожары. Архангельск: ОГИЗ, 1947. 60 с.
- Павлов И. Н. Деструктивные и восстановительные процессы в лесных экосистемах юга Сибири: дис. ... д-ра биол. наук: 06.03.03/03.00.16. Красноярск: СибГТУ, 2007. 529 с.
- Парамонов Е. Г., Ишутин Я. Н. Крупные лесные пожары в Алтайском крае. Барнаул: Полигр. предпр. «Дельта», 1999. 193 с.
- Правила санитарной безопасности в лесах. Утв. Постановл. Правительства РФ от 09.12.2020 № 2047. М.: Правительство РФ, 2020.
- Приказ Минприроды России от 05.04.2017 № 156 «Об утверждении Порядка осуществления государственного лесопатологического мониторинга» М.: Минприроды России, 2017.
- Приказ Минприроды России от 29.12.2021 № 1024 «О внесении изменения в Правила лесовосстановления, состав проекта лесовосстановления, порядок разработки проекта лесовосстановления и внесения в него изменений». М.: Минприроды России, 2021.
- Приказ Минприроды России от 05.08.2022 № 510 «Об утверждении лесоустойчивости инструкции». М.: Минприроды России, 2022.

- Природопользование* Дальнего Востока России и Северо-Восточной Азии: потенциал интеграции и устойчивого развития / под ред. А. С. Шейнгауза. Хабаровск: Ин-т экон. иссл. ДВО РАН, 2005. 528 с.
- Рогозин М. Ю., Картамышева Е. С. Вырубка лесов – экологическая катастрофа // Молодой ученый. 2017. № 51 (185). С. 124–128.
- Санников С. Н. Пожары как фактор трансформации, возобновления, стабильности и эволюции сосновых лесов Северной Евразии // Охрана лесов от пожаров в современных условиях: Материалы Междунар. науч.-практ. конф., Хабаровск, 27–29 марта 2022 г. Хабаровск: Изд-во КПБ, 2002. С. 310–315.
- Симон Ф. Ф. Результаты изучения некоторых условий возобновления сосны с соображениями о рубках в сосняках. Свердловск: Изд-во Урал. лесотех. ин-та, 1934. Вып. 2. С. 1–68.
- Магин В. Н., Ильинская С. А., Назимова Д. И., Новосельцева И. Ф., Чередникова Ю. С. Типы лесов гор Южной Сибири. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1980. 336 с.
- Сукачев В. Н., Зон С. В. Методические указания к изучению типов леса. 2-е изд. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.
- Тараскин Е. Г. Роль и современное состояние уссурийского полиграфа (*Polygraphus proximus* Blend) в лесах Кемеровской области // Лесн. вестник. 2013. № 6. С. 102–105.
- Технологии* контролируемых выжиганий в лесах Сибири / Э. Н. Валендик, С. В. Верховец, Е. К. Кисляхов, Г. А. Иванова, А. В. Брюханов, И. В. Косов, И. Г. Голдаммер. Красноярск: СФУ, 2011. 160 с.
- Ткаченко М. Е. Леса Севера. СПб, 1911. 91 с.
- Ткаченко М. Е. Общее лесоводство. М.; Л.: Гослесбумиздат. 1955. 598 с.
- Усеня В. В. Современные методы и средства охраны лесов от пожаров и ликвидации их последствий в Республике Беларусь // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2015. Вып. 75. С. 596–610.
- Уссурийский* полиграф в лесах Сибири (распространение, биология, экология, выявление и обследование поврежденных насаждений): Метод. пособ. / С. А. Кривец, И. А. Керчев, Э. М. Бисирова, В. М. Петько, Н. В. Пашенова, Ю. Н. Баранчиков, Д. А. Демидко. Томск; Красноярск: Умиум, 2015. 48 с.
- Фирсова В. П. Лесные почвы Свердловской области и их изменение под влиянием лесохозяйственных мероприятий // Тр. Ин-та экологии растений и животных Урал. науч. центра АН СССР. Свердловск, 1969. Вып. 63. С. 151–163.
- Фуряев В. В. Шелкопрядники тайги и их выжигание. Москва: Наука, 1966. 92 с.
- Фуряев В. В. Методы оценки последствий пожаров по материалам аэрокосмической съемки // Горение и пожары в лесу. Ч. 3: Лесные пожары и их последствия. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1979. С. 33–66.
- Халявкин Б. В. Лесные пожары как современная проблема в России // Наука и современность. 2013. № 23. С. 143–153.
- Харук В. И., Пономарев Е. И. Пожары и гари сибирской тайги // Наука из первых рук. 2020. № 2 (87). С. 56–71.
- Химич Ю. Р. Состояние еловых лесов бореальной зоны после пожара и ксилотрофные базидиомицеты // Хвойные бореал. зоны. 2009. Т. 26. № 1. С. 62–66.
- Чермных А. И., Магасумова Л. А., Белов Л. А., Шубин Д. А. Методика оценки потенциала предварительного лесовосстановления по электронной базе данных лесного участка // Агр. вестн. Урала. 2018. № 3 (170). С. 49–53.
- Kukavskaya E. A., Buryak L. V., Ivanova G. A., Conard S. G., Kalenskaya O. P., Zhila S. V., McRae D. J. Influence of logging on the effects of wildfire in Siberia // Environ. Res. Lett. 2013. V. 8. N. 4. Article 045034. 11 p.
- 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.
- McRae D. J. Variability of fire behavior, fire effects and emissions in Scotch pine forests of central Siberia // Mitigation and adaptation strategies for global change. 2006. V. 11. Iss. 1. P. 45–74.
- Tyukavina A., Potapov P., Hansen M. C., Pickens A. H., Stehman S. V., Turubanova S., Parker D., Zalles V., Lima A., Kommareddy I., Song X.-P., Wang L., Harris N. Global trends of forest loss due to fire from 2001 to 2019 // Front. Rem. Sens. 2022. V. 3. Article 825190. 20 p.
- Van Wagner C. E. The line intersect method in forest fuel sampling // For. Sci. 1968. V. 14. Iss. 1. P. 20–26.

## ASSESSMENT OF THE STATE OF FORESTS DISTURBED BY FIRES, LOGGING, AND INSECTS IN THE FOOTHILLS OF THE EASTERN SAYAN MOUNTAINS

Yu. V. Saltsevich<sup>1,2</sup>, L. V. Buryak<sup>1,2</sup>, A. N. Golovina<sup>1</sup>, E. A. Kukavskaya<sup>3</sup>

<sup>1</sup> *The Center of Forest Pyrology, Development of Forest Ecosystem Conservation, Forest Protection and Regeneration Technologies – Branch of the All-Russian Scientific-Research Institute of Silviculture and Mechanization of Forestry Krupskaya str., 42, Krasnoyarsk, 660062 Russian Federation*

<sup>2</sup> *Reshetnev Siberian State University of Science and Technology Prospekt «Krasnoyarskiy rabochiy», 31, Krasnoyarsk, 660037 Russian Federation*

<sup>3</sup> *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: saltsevichyv@firescience.ru, buryaklv@firescience.ru, golovinaan@firescience.ru, kukavskaya@ksc.krasn.ru

An assessment of the state of forest lands disturbed by fires, logging and insects in the foothills of the Eastern Sayan Mountains in the forest formations inherent in the study area (Siberian stone pine (*Pinus sibirica* Du Tour), fir (*Abies sibirica* Ledeb.), Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), spruce (*Picea obovata* Ledeb.), larch (*Larix sibirica* Ledeb.), birch (*Betula pendula* Roth), aspen (*Populus tremula* L.)) as well as in forest crops was carried out. The impact of fires, insects, logging, and windfalls was found to result in degradation of the forest health conditions of all forest formations within the boundaries of the foothills of the Eastern Sayan Mountains. Characteristics of natural reforestation on disturbed areas of forest lands were revealed. Unsatisfactory reforestation was observed on most of the disturbed areas of forest lands due to proliferation of the dense grass cover, the formation of a thick duff, the growth of sphagnum (*Sphagnum* L.) and the occurrence of frequent fires. In cases where there is a sufficient amount of healthy regeneration, natural reforestation occurs by vegetative propagation of soft-leaved low-value tree species (birch and aspen), which, in turn, inhibit the young immature generation of coniferous trees (including forest plantations) due to shading and competition for soil nutrients.

**Keywords:** *disturbed forest lands, burned area, logged site, windfall area, forests disturbed by Siberian silk moth and four-eyed fir bark beetle, forest fuel loads, reforestation.*

**How to cite:** Saltsevich Yu. V., Buryak L. V., Golovina A. N., Kukavskaya E. A. Assessment of the state of forests disturbed by fires, logging, and insects in the foothills of the Eastern Sayan Mountains // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 63–75 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630\*431

## ОЦЕНКА ЗАПАСОВ ЛЕСНЫХ ГОРЮЧИХ МАТЕРИАЛОВ В ПОВРЕЖДЕННЫХ ПОЛИГРАФОМ УССУРИЙСКИМ ПИХТОВЫХ ДРЕВОСТОЯХ КРАСНОЯРСКОГО КРАЯ

С. В. Жила, И. В. Фуряев, Н. М. Ковалева

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

E-mail: getgain@mail.ru, furya\_i@mail.ru, nk-75@mail.ru

Поступила в редакцию 29.06.2023 г.

Проведена оценка изменения запасов лесных горючих материалов в пихтарниках крупнотравно-зеленомошных в подзоне южной тайги Красноярского края. Объектом исследования были темнохвойные насаждения с преобладанием пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) крупнотравно-зеленомошного типа леса, поврежденные полиграфом уссурийским (*Polygraphus proximus* Blandford). Установлено, что основной отпад приходится на деревья средних диаметров, подверженных значительному конкурентному давлению со стороны деревьев крупного размера. Проведена оценка запасов лесных горючих материалов (живого напочвенного покрова, упавших древесных горючих материалов, опада, подстилки). Установлено, что в нарушенных темнохвойных насаждениях на 8–10-й год с начала воздействия короеда они увеличиваются (с 24.01 до 41.53 т/га), в основном за счет упавших древесных горючих материалов (30.84 т/га), а также значительно возрастают запасы травяно-кустарничкового яруса (с 0.31 до 1.93 т/га).

**Ключевые слова:** инвазия полиграфа уссурийского, нарушенные пихтарники, темнохвойные насаждения, упавшие древесные горючие материалы, отпад древостоя.

DOI: 10.15372/SJFS20230608

### ВВЕДЕНИЕ

О проблеме гибели темнохвойных лесов в результате инвазии полиграфа уссурийского (*Polygraphus proximus* Blandford) в России известно с начала 2000-х годов. В последние десятилетия данный короед является одним из основных факторов широкомасштабного усыхания пихтовых лесов на территории Сибири. Возникновению вспышек массового размножения его популяции способствовало ухудшение жизненного состояния древостоев, в том числе в результате водных стрессов, которым подвергались темнохвойные насаждения (Харук и др., 2019; Kharuk et al., 2019). К 2017 г. усыхание пихты сибирской (*Abies sibirica* Ledeb.) распространилось на весь ареал ее произрастания, местами гибло до 75 % древостоев (Керчев, 2014; Kerchev, 2014). К тому же этот вид оказался крайне неустойчивым к комплексу патогенных

офиостомовых грибов, связанных с полиграфом, что приводило к чрезвычайно быстрому усыханию пораженных короедом деревьев (Пашенова и др., 2012; Баранчиков и др., 2014).

Повреждение пихты сибирской уссурийским полиграфом актуально в последние десятилетия и для Красноярского края. По данным Красноярского филиала Рослесозащиты на 2018 г., поврежденные полиграфом уссурийским насаждения отмечены на площади 225.6 тыс. га (Soldatov et al., 2019), а к 2021 г. – уже на площади 571 тыс. га (Центром..., 2021). Усыхание охватило территории 39 лесничеств Красноярского края. При этом наибольшие повреждения были сосредоточены в Таежинском (146.3 тыс. га) и Большемууртинском (68.3 тыс. га) лесничествах. Прогнозируется дальнейшее расширение вторичного ареала полиграфа, в том числе формирование новых очагов вредителя (Центром..., 2021).

Под воздействием полиграфа уссурийского происходит деградация пихтовых лесов. Гибель древостоев ведет к изменению микроклиматических условий и, как следствие, к структурному изменению подроста, а также живого напочвенного покрова (Керчев, 2014; Kerchev, 2014). В нарушенных насаждениях наблюдается значительное изменение видового состава травяно-кустарничкового яруса, а также его запасов, что способствует повышению пожароопасности темнохвойных насаждений (Астапенко и др., 2014; Чернова, 2014; Кривец и др., 2015; Krivets et al., 2015; Шабалина и др., 2017; Дебков, 2018; Бакшеева и др., 2021).

Природная пожарная опасность темнохвойных лесов в ненарушенном состоянии довольно низка, это обуславливается морфологическими особенностями данных насаждений (Stikel, 1934; Мелехов, 1947; Wekk, 1950; Ломов, 2019). Однако картина совершенно меняется в случае усыхания насаждений в результате нашествия полиграфа уссурийского. Массовая гибель древостоев повышает вероятность возникновения крупных пожаров.

В настоящее время в научной литературе недостаточно освещена тема оценки пожарной опасности темнохвойных насаждений, нарушенных полиграфом. Работа по оценке пожарной опасности нарушенных сибирским шелкопрядом (*Dendrolimus sibiricus* Tschetverikov) темнохвойных насаждений проводилась специалистами лаборатории лесной пирологии Института леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР в 60-е годы прошлого столетия. Установлено, что основным фактором повышения пожарной опасности нарушенных шелкопрядом насаждений явилось увеличение запаса по всем видам лесных горючих материалов (Фурьев, 1966). Для успешной оценки пожарной опасности пихтовых насаждений необходимо понимать интенсивность накопления лесных горючих материалов после воздействия короеда. Важной

задачей является мониторинг за процессами формирования запасов лесных горючих материалов в свете разрастающейся угрозы тотального усыхания пихтовых насаждений.

С учетом актуальности существующей проблемы целью данного исследования была оценка изменения запасов лесных горючих материалов в поврежденных пихтовых древостоях.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Район исследований относится к Среднесибирской равнине, расположен в ее южно-таежной части, на стыке с горной системой Восточного Саяна и входит в территорию водораздела бассейнов Оби и Енисея, для которого характерно наличие обширных плоскогорий, а также плоских водораздельных гор высотой до 877 м над ур. м. Климат района умеренно-континентальный, с холодной длинной зимой и жарким коротким летом. Для района характерно достаточное и даже избыточное количество осадков (в год 800 мм, и более). Почвы подзолистые, имеют развитый гумусовый горизонт, выраженную кислую реакцию (Бугаков и др., 1981).

Объектом исследований были темнохвойные насаждения с преобладанием пихты сибирской крупнотравно-зеленомошного типа леса. Для оценки запасов лесных горючих материалов (ЛГМ) в нарушенных полиграфом уссурийским пихтовых насаждениях были заложены четыре пробные площади (пп) размером 0.25 га (табл. 1).

Пп 1 с усыханием древостоя 75–80 % и пп 2 (контроль) расположены в Мининском лесничестве (55°99' с. ш. и 92°06' в. д.). Пп 3, где усыхание пихты составило 45–50 %, и пп 4 (контроль) расположены в Емельяновском лесничестве (56°13' с. ш. и 91°59' в. д.).

По данным лесоустройства, повреждение пихты сибирской на пп 1 началось в 2012–2013 гг.,

**Таблица 1.** Таксационные показатели древостоев пробных площадей

Номер пп	Средние		Состав (возраст, лет)	Полнота	Бонитет	Густота древостоя, деревьев/га		Древесный запас, м <sup>3</sup> /га		Подрост, тыс. шт./га
	D, см	H, м				живых	сухих	живых	сухих	
1	23.9	23.5	10П (125), ед. Б	0.6	III	113	363	51	169	3.88
2	22.9	23.0	10П (125), ед. Б	0.6	III	352	151	202	35	0.92
3	21.8	22.3	10П (130), ед. Б, Е	0.6	III	181	322	69	153	5.55
4	26.3	24.9	10П (130), ед. Б, Е	0.6	III	333	169	213	30	1.60

Примечание. П – пихта сибирская; Е – ель (*Picea A. Dietr.*); Б – береза (*Betula L.*).

на пп 2 – в 2020 г. Таксационные показатели древостоев пробных площадей приведены в табл. 1.

Контрольные насаждения одноярусные, с хорошо развитым подлеском из спиреи рябинолистной (*Sorbaria sorbifolia* (L.) A. Braun), рябины сибирской (*Sorbus aucuparia* subsp. *sibirica* (Hedl.) Krylov), малины обыкновенной (*Rubus idaeus* L.). Средний возраст древостоев 120–130 лет. Травяно-кустарничковый ярус представлен двумя подъярусами: в первом доминирует вейник тупочешуйный (*Calamagrostis obtusata* Trin.), содоминирует борец северный (*Aconitum septentrionale* Koelle), во втором значительное участие принимают линнея северная (*Linnaea borealis* L.), ортилия однобокая (*Orthilia secunda* (L.) House), мителла голая (*Mitella nuda* L.), грушанка круглолистная (*Pyrola rotundifolia* L.), седмичник европейский (*Trientalis europaea* L.), майник двулистный (*Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt).

Общее проективное покрытие мохового покрова 30–40 %. Доминирует ритидиадельфус трехгранный (*Rhytidiadelphus triquetrus* (Hedw.) Warnst), содоминируют – гилокомиум блестящий (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp.), плевроциум Шребера (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.), птилиум гребенчатый (*Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not.).

Деревья исследовали методом перечислительной таксации (Van Wagner, 1968; McRae et al., 1979). У каждого дерева измеряли высоту, диаметр на высоте 1.3 м от основания ствола, учитывали состояние крон. Для изучения экологических последствий инвазии и процессов трансформации в нарушенных полиграфах уссурийским насаждениях была проведена оценка жизненного состояния поврежденных древостоев. Жизненное состояние деревьев на пробных площадях оценивали по методике В. А. Алексеева (1989). Отпад деревьев на пробных площадях с частичным и значительным повреждением полога был рассчитан по количеству свежего и старого сухостоя. Всего обследовано 400 деревьев. Описание нижних ярусов растительности проводили по методике А. В. Побединского (1962). Для учета возобновления были заложены и обмерены 34 учетные площадки размером 2 × 2 м.

Образцы ЛГМ были собраны по методике Н. П. Курбатского (1970). На каждой пробной площади закладывали по 15 учетных площадок (размером 25 × 20 см), на которых определяли запасы ЛГМ: живого напочвенного покрова (трав, кустарничков, мхов), опада по фракциям (хвоя, кора, шишки, веточки, листья), ветоши,

подстилки. На углах заложенной площадки измеряли толщину слоя лесных горючих материалов, а также отдельно учитывали мощность мохового покрова. В лабораторных условиях образцы высушивали до абсолютно сухого состояния. Всего было отобрано 200 образцов живого напочвенного покрова, опада и подстилки.

Запас упавших древесных горючих материалов (УДГМ) определяли методом пересеченных линий. Он заключается в определении классов диаметра элементов древесных горючих материалов (менее 7 см в диаметре), входивших в вертикальную плоскость пересечения с пробной линией, при помощи специальной мерной вилки, просветы между зубцами которой соответствуют разным классам диаметра. Элементы свыше 7 см в диаметре, попавшие в эту плоскость, измеряли с помощью большой мерной вилки с точностью до 0.1 см. Учет производили на линии длиной 5 м (всего было заложено 42 линии). В конце измерений количество элементов, пересеченных линией, складывалось по классам диаметра для пробной точки, где проводили пересчет упавших древесных горючих материалов. В дальнейшем для определения запаса упавших ветвей и валежа был подобран соответствующий постоянный переводной коэффициент, который умножали на число пересеченных элементов данного класса диаметра (Van Wagner, 1968; McRae et al., 1979).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследований установлено, что инвазия короеда полиграфа уссурийского в исследуемых темнохвойных насаждениях привела к изреживанию древостоев (рис. 1).



Рис. 1. Насаждение пихты сибирской, поврежденное уссурийским полиграфом (пп 3).



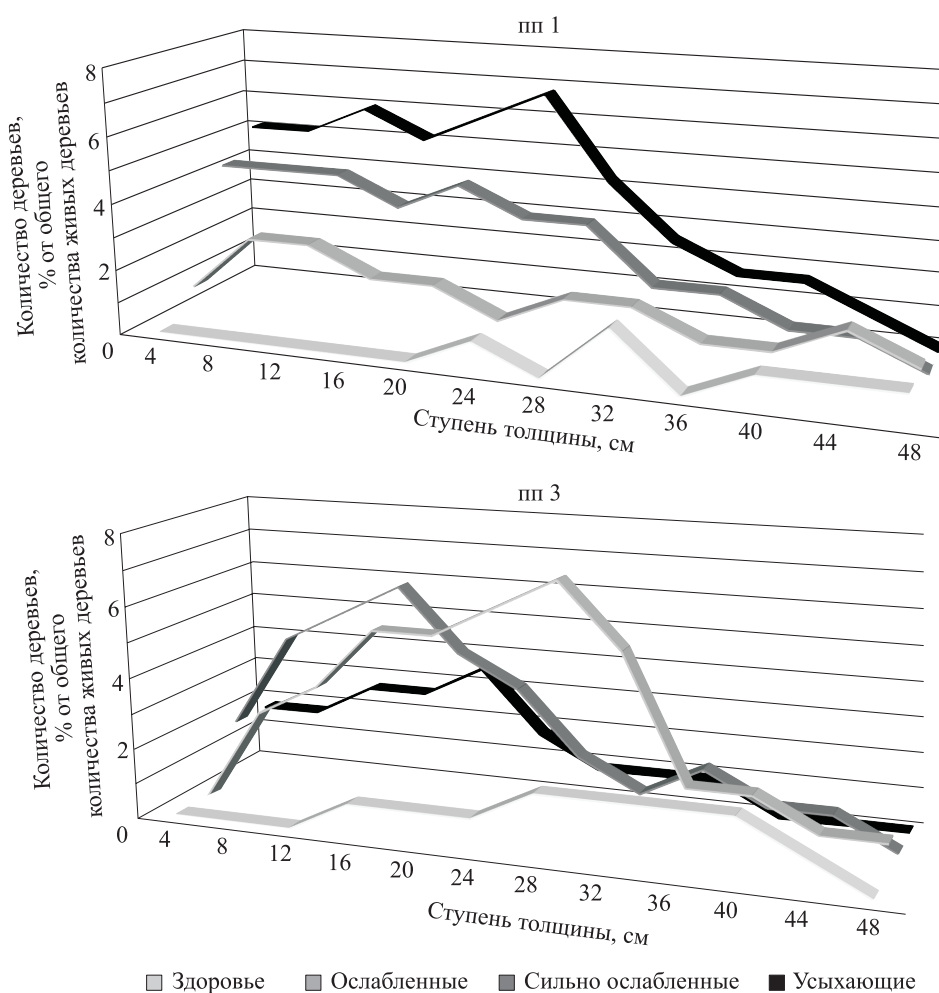


Рис. 2. Жизненное состояние деревьев в нарушенных насаждениях.

В нарушенных насаждениях наблюдалась отрицательная динамика состояния древостоев. В результате деятельности инвайдера значительно уменьшилась доля здоровых особей пихты, произошло увеличение доли ослабленных, сильно ослабленных и погибших деревьев, а также массовое образование валежа.

Сильная степень деградации пихтовых насаждений наблюдалась на пп 1. Значительная доля живых деревьев отнесена к категориям усыхающих и сильно ослабленных, данный показатель составил соответственно 45 и 32 % от общего числа живых деревьев. Наибольшая доля усыхающих деревьев (5–7 %) от общего количества живых деревьев отмечена на 16–24-й ступенях толщины. Дальнейшему ослаблению и усыханию в большей степени подверглись деревья небольших диаметров (рис. 2).

В первую очередь короедом поражаются деревья ослабленные, отставшие в росте, произрастающие на участках с дефицитом увлажнения (Баранчиков и др., 2014; Кривец и др., 2015;

Krivets et al., 2015; Шабалина и др., 2017; Харук и др., 2019; Kharuk et al., 2019). На пп 3 выявлена значительная часть деревьев с неудавшимися попытками заселения полиграфа, об этом свидетельствовали смоляные потеки в местах попыток втачивания. Данный показатель составил 25 % от общего числа ослабленных деревьев.

Доля здоровых деревьев на пп 1 и 3 составила 5 и 11 % соответственно, основная масса приходилась на особи со средними и большими диаметрами стволов (26–50 см).

Таким образом, исследованные нами пихтовые насаждения можно отнести к утратившим свою устойчивость. Поражение стволовыми вредителями привело к отпаду деревьев, который в несколько раз превысил количество отпада на контроле. Отпад деревьев на пробных площадях составил до 80 % от общего числа деревьев на пп 1 и до 50 % на пп 3.

Наибольшее количество отпада приходится на деревья малых и средних ступеней толщины (рис. 3).

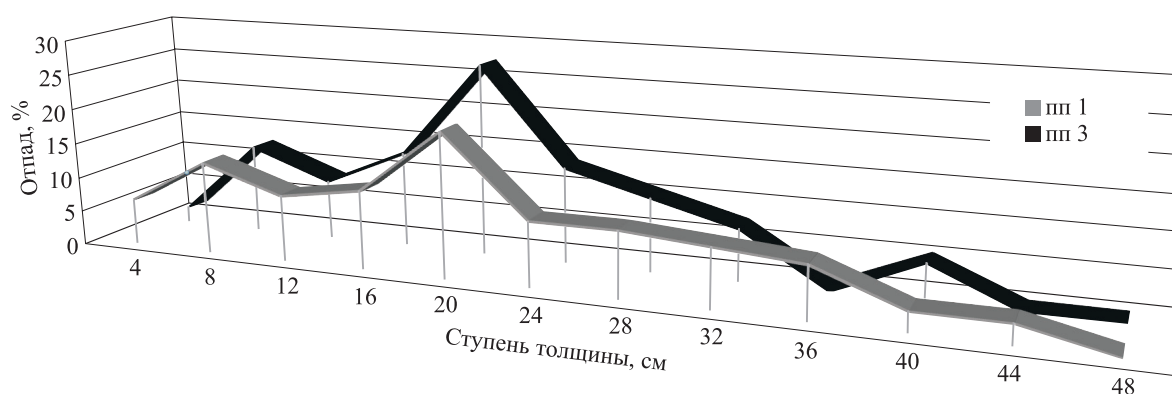


Рис. 3. Отпад деревьев в нарушенных насаждениях (пп 1 и пп 3) по ступеням толщины.

Данная закономерность наблюдается на пробных площадях независимо от степени нарушенности древостоя. Исходя из этого, можно прогнозировать, что в течение 3–5 лет жизненное состояние деревьев на пробной площади с меньшей нарушенностью изменится.

Массовое усыхание и гибель древостоев, в свою очередь, приведет к значительному увеличению запасов УДГМ и повышению пожароопасности исследуемых насаждений.

Подобные закономерности были отмечены российскими и зарубежными авторами при исследовании насаждений на ранних этапах размножения короедов. При массовом заселении пихт в очагах размножения вредителя здоровые деревья переходят в состояние сухостоя уже на 3–4-й год (Баранчиков и др., 2014; Кривец и др., 2015; Krivets et al., 2015).

Усыхание деревьев, разрушение кроны, обламывание сухих ветвей, переход сухостоя в валеж в исследуемых насаждениях привели к изменению светового, а также теплового режимов под кронами основного яруса. В нарушенных насаждениях наблюдается значительное изменение видового состава травяно-кустарничкового яруса, а также его запасов, что способствует повышению пожароопасности темнохвойных насаждений (Астапенко и др., 2014; Чернова, 2014; Кривец и др., 2015; Krivets et al., 2015; Шабалина и др., 2017; Дебков, 2018; Бакшеева и др., 2021).

Так, на пп 1 с отпадом деревьев верхнего яруса до 80 % запас травяно-кустарничкового яруса составил более 1.93 т/га (табл. 2).

Основная доля в запасе приходилась на следующие виды: борец северный, кочедыжник женский (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth ex Mert.), купырь лесной (*Anthriscus sylvestris* (L.) Hoffm.), вейник тупочешуйный. На пп 3 с частичным отпадом древесного яруса (до 50 %) запас данного показателя составил 1.08 т/га и также увеличилась доля крупнотравных видов.

Запас УДГМ варьировал на пп от 17 до 30 т/га в зависимости от степени нарушенности насаждения, что в 3–5 раза превышало данный показатель в ненарушенных насаждениях (табл. 2).

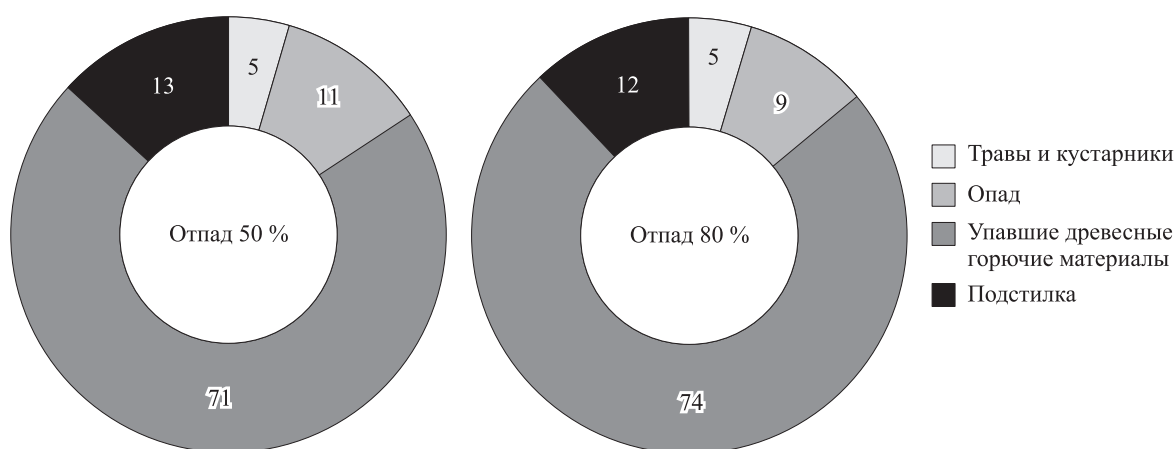
Крупные древесные остатки, ветки и валеж, накапливаясь в больших количествах, создают захламленность, что, в свою очередь, увеличивает пожароопасность насаждений (Курбатский, 1970).

Наибольший запас лесных горючих материалов установлен на пробной площадке с 80%-м отпадом деревьев – 41.53 т/га, что в 3.7 раза превышает общий запас ЛГМ на контроле. На пробной площадке с 50 %-м отпадом деревьев данный показатель составляет более 24 т/га (табл. 2).

Учитывая временной фактор и жизненное состояние древостоя, на данном участке можно спрогнозировать значительное увеличение общего запаса ЛГМ.

Таблица 2. Запасы лесных горючих материалов на пробных площадях, т/га

Номер пп	Травы и кустарнички	Опад	Мхи	Упавшие древесные горючие материалы	Подстилка	Всего
1	1.93 ± 0.07	3.85 ± 0.19	–	30.84 ± 4.05	4.91 ± 0.44	41.53
2 (контроль)	0.73 ± 0.07	1.57 ± 0.31	0.31 ± 0.19	5.62 ± 1.43	2.93 ± 0.44	11.16
3	1.08 ± 0.05	2.67 ± 0.10	–	17.08 ± 2.96	3.18 ± 0.10	24.01
4 (контроль)	0.49 ± 0.07	1.65 ± 0.19	0.71 ± 0.21	6.04 ± 1.70	2.10 ± 0.44	10.99



**Рис. 4.** Структура запасов лесных горючих материалов в темнохвойных насаждениях с разной степенью нарушения, %.

На рис. 4 приведена структура запасов лесных горючих материалов в нарушенных насаждениях.

Доля упавших древесных горючих материалов в общем запасе нарушенных насаждений достигала 74 %.

Темнохвойные насаждения, нарушенные сибирским шелкопрядом схожи по развитию ситуации массового накопления лесных горючих материалов (Фурьев, 1966; Гродницкий и др., 2002).

Был проведен сравнительный анализ данных по запасам ЛГМ в темнохвойных насаждениях, нарушенных полиграфом уссурийским (табл. 2) и сибирским шелкопрядом (табл. 3).

Для корректного сравнения выбрали древостои с одинаковым сроком с момента начала повреждения древостоев энтомовредителями.

Сравнение запасов ЛГМ позволяет сделать вывод, что динамика их накопления различается. В первую очередь это касается временного периода, за который происходит деградация и распад древостоя. В нарушенных шелкопрядом древостоях происходит быстрая гибель деревьев из-за повреждения ассимиляционного аппарата хвойного дерева. Распад древостоя неизбежно ведет к значительному накоплению ЛГМ и ухудшению пожароопасной ситуации.

Из табл. 3 видно, что запас трав и кустарничков в нарушенном насаждении увеличился

в 2–3 раза по сравнению с контролем. Общий запас ЛГМ увеличился более чем в 3 раза по сравнению с не нарушенным шелкопрядом насаждением. Основной вклад в запас внесли подстилка, а также ветки и сучья – 32 и 24.3 т/га соответственно.

При воздействии полиграфа уссурийского усыхание и гибель древостоев идет более медленно, что влияет на скорость накопления и созревания горючих материалов по сравнению с шелкопрядниками. При этом уже спустя несколько лет после воздействия данного короеда наблюдается увеличение запасов живого напочвенного покрова в несколько раз.

Несмотря на схожесть объектов по типу леса и основным лесоводственно-таксационным характеристикам, соотношение запасов в них разное. Вероятно, это объясняется разной скоростью и особенностями процессов деградации темнохвойных насаждений под воздействием полиграфа уссурийского и сибирского шелкопряда. В нарушенных полиграфом насаждениях основное увеличение запасов в структуре ЛГМ произошло за счет УДГМ (71–74 %), тогда как в шелкопрядниках этот показатель составил 34 %. В шелкопрядниках основной вклад в общий запас ЛГМ вносит подстилка (45 %), тогда как в полиграфниках ее доля составляет 12–13 % общего запаса. Основной проводник горения –

**Таблица 3.** Запасы ЛГМ (т/га) в нарушенном и не поврежденном сибирским шелкопрядом темнохвойном насаждении по данным В. В. Фурьева (1966)

Пробная площадь	Травянисто-кустарничковый ярус	Опад	Подстилка	Ветви и сучья на земле	Всего
Нарушенное насаждение	5.50	9.50	32.0	24.3	71.3
Контроль	2.20	3.80	12.8	4.86	23.66

опад – составляет сопоставимую долю в древесных, нарушенных шелкопрядом (13%) и полиграфом (9–11 %).

Таким образом, можно сделать вывод, что воздействие энтомофитов приводит к изреживанию древесного полога, изменению лесорастительных условий, и, как следствие, увеличению запасов ЛГМ и пожароопасности нарушенных темнохвойных насаждений.

Учитывая, что в нарушенных полиграфом пихтарниках накапливаются значительные запасы ЛГМ, которые в зависимости от степени нарушения варьировали от 23 до 41 т/га, что в 2–4 раза превышает запасы в ненарушенных насаждениях. Таким образом, воздействие короеда приводит не только к усыханию пихтарников, но и способствует высокой вероятности возникновения в них катастрофических лесных пожаров.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показывают, что поврежденные полиграфом уссурийским темнохвойные насаждения становятся более пожароопасными. В первую очередь заселению короедами подвергаются ослабленные и угнетенные деревья. Под воздействием короеда и ассоциированных с ним офиостомовых грибов происходит ухудшение жизненного состояния древостоев, приводящее к их сильному ослаблению и усыханию. Массовый отпад деревьев в нарушенных насаждениях способствует увеличению запасов горючих материалов. Общий запас лесных горючих материалов в нарушенных темнохвойных насаждениях составил от 24.01 до 41.53 т/га. Основной вклад в общий запас внесли УДГМ (71–74 %) и живой напочвенный покров (12–13 %). За счет значительного увеличения запаса крупнотравных видов (вейник, борец, купырь) увеличилась пожароопасность нарушенных темнохвойных насаждений. Запас живого напочвенного покрова в нарушенных насаждениях увеличился более чем в 2 раза по сравнению ненарушенными. В насаждениях, не подвергшихся воздействию короеда, запас упавших древесных горючих материалов в несколько раз меньше, чем в нарушенных.

Исследования по оценке запасов лесных горючих материалов и пожароопасности в нарушенных темнохвойных насаждениях актуальны в связи с продолжающимися вспышками массового размножения полиграфа уссурийского.

В настоящее время из-за недостатка знаний экологии уссурийского полиграфа у работников

лесного хозяйства, позднего обнаружения очагов его массового размножения, недостаточного объема лесопатологических обследований, организационных сложностей при назначении санитарных рубок образовалось множество расстроенных пихтовых насаждений, непривлекательных для лесозаготовителей и представляющих пожарную опасность, серьезность которой трудно переоценить. Исходя из сказанного выше, данные исследования необходимо продолжить. Будут изучены участки с различной степенью нарушения и различными условиями местопроизрастания для оценки запасов ЛГМ в зависимости от времени разрушения древостоя.

*Авторы признательны заведующему лабораторией лесной зоологии ИЛ СО РАН, кандидату биологических наук Ю. Н. Баранчикову за критическое и полезное обсуждение статьи. Работа выполнена в рамках государственного задания ИЛ СО РАН «№ FWES-2021-0010, Рег. НИОКТР № 121030900181-4».*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Алексеев В. А.* Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев // Лесоведение. 1989. № 4. С. 51–57.
- Астапенко С. А., Ягунов М. Н., Голубев Д. В., Саишко Е. В.* Оценка воздействия и распространения насекомых-вредителей в лесах Красноярского края на примере полиграфа уссурийского // Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций: Материалы IV Всерос. науч.-практ. конф., Железногорск, 2014 г. Железногорск: Сиб. пожар.-спас. акад., 2014. С. 46–51.
- Бакшеева Е. О., Головина А. Н., Морозов С. А.* Лесовозобновление и пожароопасность пихтовых насаждений, поврежденных полиграфом уссурийским // Хвойные бореал. зоны. 2021. Т. 39. № 6. С. 443–450.
- Баранчиков Ю. Н., Демидко Д. А., Лантев А. В., Петько В. М.* Динамика отмирания деревьев пихты сибирской в очаге уссурийского полиграфа // Лесн. вестн. 2014. Т. 18. № 6. С. 132–138.
- Бугаков П. С., Горбачева С. М., Чупрова В. В.* Почвы Красноярского края. Красноярск: Кн. изд-во, 1981. 128 с.
- Гродницкий Д. Л., Разнобарский В. Г., Солдатов В. В., Ремарчук Н. П.* Деградация древостоев в таежных шелкопрядах // Сиб. экол. журн. 2002. Т. 9. № 1. С. 3–12.
- Добков Н. М.* Закономерности изменения структуры пихтовых лесов, поврежденных в результате инвазии уссурийского полиграфа // Лесотехн. журн. 2018. № 1. С. 13–22.
- Керчев И. А.* Экология полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) в Западно-Сибирском регионе инвазии // Рос. журн. биол. инваз. 2014. Т. 7. № 2. С. 80–95.

- Кривец С. А., Бисирова Э. М., Керчев И. А., Пац Е. Н., Чернова Н. А. Трансформация таежных экосистем в очаге инвазии полиграфа уссурийского *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) в Западной Сибири // Рос. журн. биол. инваз. 2015. Т. 8. № 1. С. 41–63.
- Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
- Ломов В. Д. Пожарная опасность в лесах Владимирской Мещеры // Лесн. вестн. 2019. Т. 23. № 2. С. 115–120.
- Мелехов И. С. Природа леса и лесные пожары. Архангельск: ОГИЗ, 1947. 60 с.
- Пашенова Н. В., Петько В. М., Керчев И. А., Бабичев Н. С. Перенос офиостомовых грибов уссурийским полиграфом *Polygraphus proximus* Blandf. (Coleoptera, Scolytidae) в Сибири // Изв. СПбЛТА. 2012. № 200. С. 114–120.
- Побединский А. В. Изучение лесовосстановительных процессов: Метод. указ. Красноярск: Ин-т леса и древесины СО АН СССР, 1962. 60 с.
- Фуряев В. В. Шелкопрядники тайги и их выжигание. М.: Наука, 1966. 92 с.
- Харук В. И., Шущпанов А. С., Петров И. А., Демидко Д. А., Им С. Т., Кнорре А. А. Усыхание *Abies sibirica* Ledeb. в горных лесах Восточного Саяна // Сиб. экол. журн. 2019. Т. 26. № 4. С. 369–382.
- Центром защиты леса Красноярского края спрогнозирована санитарная и лесопатологическая ситуация на первое полугодие 2022 года. Красноярск: Центр защиты леса Красноярского края, 25 ноября 2021. <https://krasnoyarsk.rcfh.ru/presscenter/novosti/tsentrom-zashchity-lesa-krasnoyarskogo-kрая-sprognozirovanna-sanitarnaya-i-lesopatologicheskaya-situ/>
- Чернова Н. А. Трансформация растительного покрова пихтовых лесов Томской области под влиянием уссурийского полиграфа // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2014. Т. 3. № 2. С. 271–277.
- Шабалина О. М., Безкоровая И. Н., Баранчиков Ю. Н. Изменение нижних ярусов фитоценозов пихтовых лесов в очагах массового размножения уссурийского полиграфа (*Polygraphus Proximus* Blandf.) на территории Красноярского края // ИВУЗ. Лесн. журн. 2017. № 2. С. 67–84.
- Kerchев I. A. Ecology of four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera; Curculionidae, Scolytinae) in the west Siberian region of invasion // Rus. J. Biol. Invas. 2014. V. 5. Iss. 3. P. 176–185 (Original Rus. text © I. A. Kerchев, 2014, publ. in Ros. zhurn. biol. invas. 2014. V. 7. N. 2. P. 80–95).
- Kharuk V. I., Shushpanov A. S., Petrov I. A., Demidko D. A., Im S. T., Knorre A. A. Fir (*Abies sibirica* Ledeb.) mortality in mountain forests of the Eastern Sayan Ridge, Siberia // Contemp. Probl. Ecol. 2019. V. 12. Iss. 4. P. 299–309 (Original Rus. text. © V. I. Kharuk, A. S. Shushpanov, I. A. Petrov, D. A. Demidko, S. T. Im, A. A. Knorre, 2019, publ. in Sib. ekol. zhurn. 2019. V. 26. N. 4. P. 369–382).
- Krivets S. A., Bisirova E. M., Kerchев I. A., Pats E. N., Chernova N. A. Transformation of taiga ecosystems in the Western Siberian invasion focus of four-eyed fir bark beetle *Polygraphus proximus* Blandford (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) // Rus. J. Biol. Invas. 2015. V. 6. Iss. 2. P. 94–108 (Original Rus. text © S. A. Krivets, E. M. Bisirova, I. A. Kerchев, E. N. Pats, N. A. Chernova, 2015, publ. in Ros. zhurn. biol. invas. 2015. V. 8. N. 1. P. 41–63).
- McRae D. J., Alexander M. E., Stocks B. J. Measurement and description of fuels and fire behavior on prescribed burns: A handbook. Rep. 0-X-287. Great Lakes For. Res. Cent. Can. For. Serv. Dpt. Environ. Sault Ste. Marie, Ontario, 1979. 44 p. + Append.
- Soldatov V. V., Golubev D. V., Ostroshinskaya E. M., Gninenko Yu. I. *Polygraphus proximus* in the Krasnoyarsk territory // Invasive dendrophilous organisms: challenges and protection operations / Yu. I. Gninenko (Gen. ed.). Pushkino: VNIILM (All-Rus. Sci. Res. Inst. Silvicult. & Mechanizat. For.), 2019. P. 104–109.
- Stikel P. W. Weather and forest fire hazard with special reference to the upper altitudinal spruce- balsam fir region of Northern New York // J. For. 1934. V. 32. Iss. 1. P. 76–79.
- Van Wagner C. E. The line intersect method in forest fuel sampling // For. Sci. 1968. V. 14. Iss. 1. P. 20–26.
- Wekk J. Die Waldbrand, seine Vorbeugung und Kampfung. Stuttgart: Kohehammer Verland, 1950. 83 p.

## ASSESSMENT OF STOCKS OF FOREST COMBUSTIBLE MATERIALS IN FIR STANDS, DAMAGED BY THE FOUR-EYED FIR BARK BEETLE IN KRASNOYARSK KRAI

S. V. Zhila, I. V. Furyaev, N. M. Kovaleva

*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: [getgain@mail.ru](mailto:getgain@mail.ru), [furya\\_i@mail.ru](mailto:furya_i@mail.ru), [nk-75@mail.ru](mailto:nk-75@mail.ru)

An assessment has been made of changes in the stocks of forest combustible materials in large grass-green moss fir forests in the southern taiga subzone of the Krasnoyarsk Krai. The object of the study was dark needle coniferous with a predominance of the Siberian fir (*Abies sibirica* Ledeb.) of tall grass-green moss forest type, damaged by four-eyed fir bark beetle (*Polygraphus proximus* Blandford). It has been established that the main mortality of trees occurs in trees of medium diameter, which were subjected to significant competitive pressure from large-sized trees. An assessment of forest combustible materials stocks (living ground cover, fallen wood combustible materials and litter) was carried out. It has been established that in disturbed dark needle coniferous stands in the 8–10<sup>th</sup> year from the beginning of the bark beetle's impact, the stock of forest combustible materials increases (from 24.01 to 41.53 t/ha). The increase was mainly due to fallen wood combustible materials (30.84 t/ha). In the disturbed stands, a significant increase in the reserves of the grass-shrub layer was also noted (from 0.31 to 1.93 t/ha).

**Keywords:** *invasion of the four-eyed fir bark beetle, disturbed fir forests, dark needle coniferous stands, fallen woody combustible materials, tree stand mortality.*

**How to cite:** Zhila S. V., Furyaev I. V., Kovaleva N. M. Assessment of stocks of forest combustible materials in fir stands, damaged by the four-eyed fir bark beetle in Krasnoyarsk Krai // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 76–84 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630\*434(571.620)

## ПОСЛЕПОЖАРНАЯ СУКЦЕССИЯ В ХВОЙНО-ШИРОКОЛИСТВЕННЫХ ЛЕСАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «АНЮЙСКИЙ»

А. Г. Матвеева<sup>1</sup>, Р. С. Великий<sup>2</sup>, А. Л. Гребенюк<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Тихоокеанский государственный университет  
680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136

<sup>2</sup> Институт водных и экологических проблем ДВО РАН  
680021, Хабаровск, ул. Дикопольцева, 56

<sup>3</sup> Братский государственный университет  
665709, Братск, ул. Макаренко, 40

E-mail: 000337@pnu.edu.ru, 2018100620@pnu.edu.ru, as17vl@list.ru

Поступила в редакцию 28.03.2023 г.

Изучение лесных экосистем, претерпевшие значительные изменения в связи с лесопромышленным освоением с 50–60-х годов XX в. и катастрофическими пожарами конца 1990-х – начала 2000-х годов, проходило в хвойно-широколиственных лесах национального парка «Ануйский». Для этого была заложена 21 пробная площадь в горной части бассейна среднего и верхнего течения р. Ануй, на правом берегу, в местах, пройденных лесными пожарами в разные годы. На пробных площадях проводились количественный учет и оценка лесоводственно-таксационных показателей древостоя, подроста и подлеска. Установлено, что на всей обследованной территории сформировались молодняки из березы плосколистной (*Betula platyphylla* Sukaczew) возрастом от 15 до 30 лет с единичным участием широколиственных пород – клена мелколистного (*Acer mono* Maxim.), липы Таке (*Tilia taquetii* C. K. Scheind.), дуба монгольского (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), ясеня маньчжурского (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) и др. В результате пожаров из насаждений исчезли коренные хвойные породы – ель аянская (*Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière), пихта белокорая (*Abies nephrolepis* (Trautv. ex Maxim.) Maxim.) и кедр корейский (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.), которые отмечены в составе подроста и появились там при благоприятных условиях, складывающихся для этих тенелюбивых пород под пологом березы плосколистной. С продвижением на восток и с увеличением высоты над уровнем моря участие ели аянской в подросте возрастало, однако в целом видовое разнообразие в составе ярусов снижалось с 19–40 до 4–27 видов. В подросте абсолютно преобладали береза плосколистная и лиственница Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr), на долю коренных пород приходилось около 60 % общего количества подроста. В основном он был благонадежным (78 %), 56 % его имело высоту более 1.5 м. В кустарниковом и травяно-кустарничковом ярусах отмечались представители коренных хвойно-широколиственных лесов: лещина маньчжурская (*Corylus mandshurica* Maxim.), барбарис амурский (*Berberis amurensis* Rupr.), василистник нитчатый (*Thalictrum filamentosum* Maxim.), вальдштейния Максимовича (*Waldsteinia maximowicziana* (Turpner) Prob.) и др.

**Ключевые слова:** восстановительная сукцессия, лесной биоценоз, пробная площадь, древостой, подрост.

DOI: 10.15372/SJFS20230609

### ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время актуальной экологической проблемой стала деградация природных экосистем под влиянием антропогенной деятельности. К одним из негативных проявлений этого влияния относятся лесные пожары.

Процесс восстановления лесного биоценоза после природного пожара может занимать от нескольких лет до десятков лет. Другие экзогенные факторы (рубки, энтомофиты) не могут сравниться с ними по степени воздействия, поскольку проявляются на ограниченной площади или носят региональный характер (Мань-

ко, 1987; Гуков, 1989; Шешуков и др., 1992). Т. А. Комарова (1992) считает пожары одной из основных причин сукцессионных смен в лесах таежной зоны.

Первый в Хабаровском крае национальный парк организован в Нанайском административном районе Распоряжением Правительства Российской Федерации от 15.12.2007 № 1838-р «Об учреждении национального парка Анюйский» (2007). Общая площадь парка – 429 370 га.

Национальный парк позволяет сохранять ценнейшие в научном отношении ландшафты кедрово-широколиственных лесов с реликтовыми видами животных и растений, достигающими северной границы в этом природоохранном комплексе, узколокальные северосихотэ-алиньские эндемики, обеспечивает сохранение естественных экологических коридоров, которые необходимы для генетического разнообразия животных, являющихся эмблемой фауны Сихотэ-Алиня.

Анюйский национальный парк располагается в юго-восточной части Нанайского района Хабаровского края. На юге и западе его территория ограничена водоразделами бассейнов рек Хор, Пихца, Тормасу и Поди, а на востоке – автомобильной дорогой «Лидога – Ванино» за исключением с. Нижняя Манома. В парк входят оз. Гасси, урочище Большая Марь, низовья р. Анюй, большая часть бассейнов рек Манома и Тормасу.

В силу сложного орографического строения и климатических особенностей почвенный покров характеризуется относительной пестротой. В наиболее возвышенных участках распространены бурые горно-лесные и бурые горно-лесные оподзоленные почвы. С понижением рельефа к западу они сменяются дерново-подзолистыми и подзолисто-болотными почвами (Ресурсы..., 1966). Болота характеризуются торфяно-глеевыми и торфянисто-глеевыми почвами. Пойменные почвы приурочены к высокой пойме Амура близ западной границы национального парка.

Территория национального парка расположена в зоне перехода Евразийского континента к Тихому океану. Близость океана как источника влагонасыщенных воздушных масс и особенности орографии, обуславливающие их трансформацию над континентом, определяют специфику климата, включенного в зону муссонов (Эколого-экономическое обоснование..., 2000).

Климат территории умеренно холодный, умеренно континентальный с хорошо выраженными сезонами года. Среднегодовая темпера-

тура воздуха в равнинной части 0.3 °С, в горной – 3.2 °С, безморозный период составляет 99–140 дней.

Среднегодовое количество осадков в равнинной части – около 600 мм, а в горной – около 1000 мм, максимум приходится на лето, поэтому летние месяцы дождливые и прохладные. Продолжительность устойчивого снежного покрова 154–210 дней. Высота снежного покрова в среднем составляет 67 см. Под действием ветров снег скапливается в основном под пологом леса, в нижних частях склонов и на днищах речных долин, и сильно уплотняется.

По геоботаническому районированию территория национального парка входит в Дальневосточную хвойно-широколиственную область, горно-равнинный Уссурийско-Амурский округ кедрово-широколиственных с елью, кедрово-еловых, елово-широколиственных, дубовых и мелколиственных лесов (Эколого-экономическое обоснование..., 2000).

Целью работы была оценка послепожарного лесовосстановления в хвойно-широколиственных лесах Хабаровского края на примере Анюйского национального парка. Для ее реализации решались следующие задачи: 1) дать таксационную характеристику восстановившихся насаждений на пробных площадях (пп), ранее пройденных пожарами в разные годы; 2) охарактеризовать состав, жизненное состояние, дать таксационную характеристику подроста на пп, ранее пройденных пожарами; 3) определить долю коренных пород в составе подроста на пп.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объекта исследования был выбран бассейн р. Анюй, лесные экосистемы которого претерпели значительные изменения в связи с их лесопромышленным освоением с 50–60-х годов прошлого столетия и катастрофическими пожарами конца 1990-х – начала 2000-х годов.

Актуальность исследования объясняется уникальностью данной территории, расположенной на границе экотонов «тайга – хвойно-широколиственные леса», между двумя самыми большими ботанико-географическими областями Земли. Анюйский национальный парк – один из последних масштабных массивов девственного кедрово-широколиственного леса в регионе.

Для анализа послепожарной сукцессии в 2022 г. в горной части бассейна среднего и верхнего течения р. Анюй на правобережье были



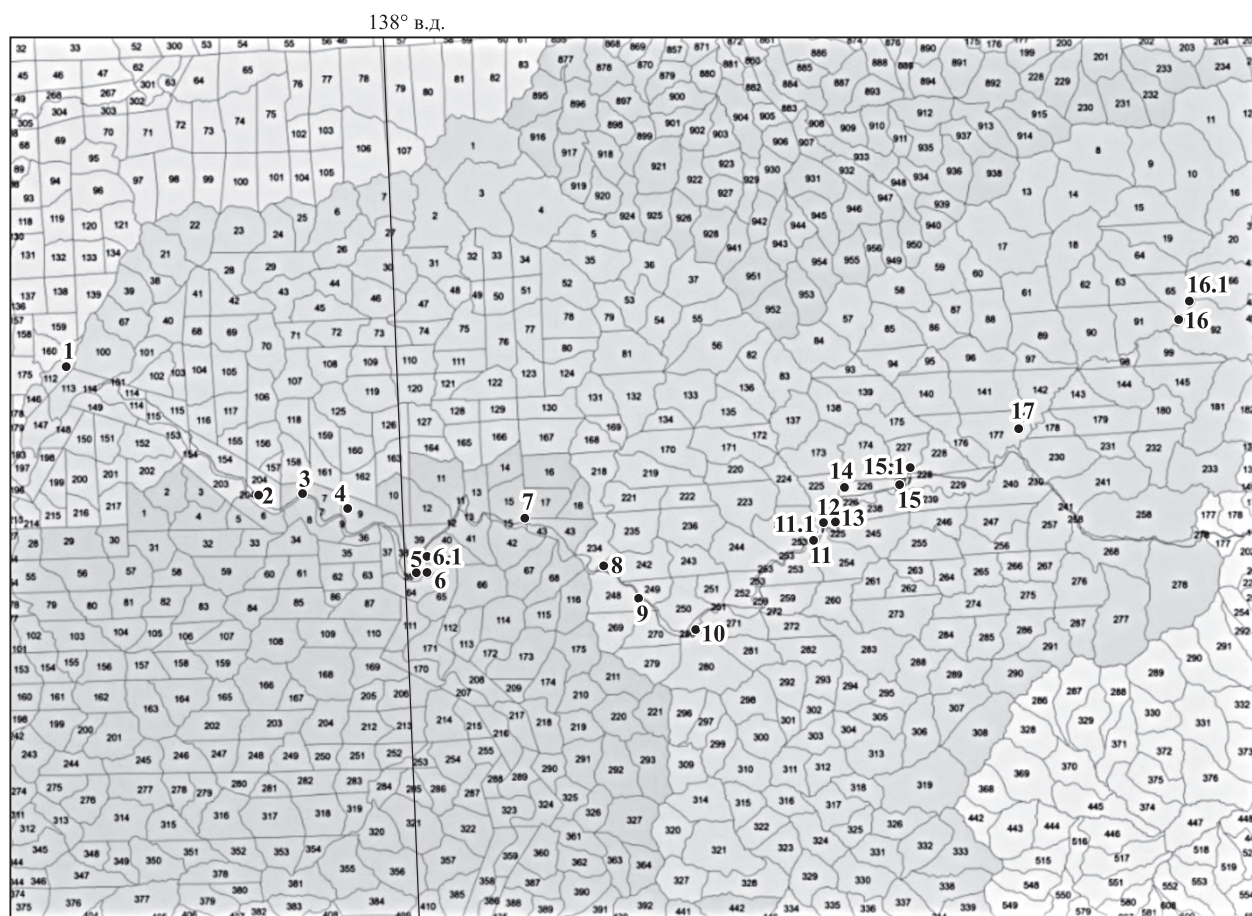


Рис. 1. Расположение пробных площадей в Ануйском национальном парке.

обследованы 21 ранее заложенные пробные площади (пп) на территории участков лесничеств Ануйское и Верхне-Ануйское, с различной высотой над уровнем моря (ВНУМ) (рис. 1).

Возобновление насаждений на пп изучалось с привлечением данных лесничеств, ежегодного учета лесного фонда, материалов лесоустройства и по результатам собственных исследований.

В основу работы положен комплексный подход с использованием лесоводственно-таксационных и маршрутно-рекогносцировочных методов с закладкой пробных площадей в наиболее характерных местоположениях естественных и измененных пожарами насаждений в соответствии с ОСТ 56-69-83 (1983). Лесоводственно-таксационные характеристики насаждений определялись по методическим указаниям В. Н. Сукачева и С. В. Зонна (1961), И. С. Мелехова с соавт. (1965), В. И. Исаева и А. В. Побединского (1977). Использовались также рекомендации по проведению лесоводственных исследований Ю. И. Манько (1959), В. Т. Чумина (1963), Б. С. Петропавловского (1987), В. М. Урусова (1988), Г. В. Гукова (1989), Т. А. Комаровой (1992), А. П. Кова-

лева (2004). На пп проводился сплошной пере-чет деревьев с определением породы, средних высоты, возраста, диаметра, а также коэффициента состава.

Подрост и подрост изучались методом сплошного перечета на учетных площадках размером  $2 \times 2$  м, заложенных не менее чем на трех визирах, расположенных в верхней, средней и нижней частях склонов. Число площадок при неравномерном распределении подраста могло варьировать в зависимости от размеров учитываемого подраста, однако площадь учета на каждой пп была не менее  $100 \text{ м}^2$  (Побединский, 1966; Будзан, 1978; Острошенко, Перевертайло, 1999). Учетный подрост распределялся по породам, категориям высот: мелкий – до 50 см, средний – 51–150 см, крупный – 151 см и более. По качественному состоянию подрост под пологом древостоя подразделялся на благонадежный, сомнительный и неблагонадежный.

При сравнении трудносопоставимых объектов использовался метод экспертных оценок, предложенный А. С. Шейнгаузом с соавт. (1989), в работе «Концептуальные основы...» (2003), А. П. Ковалевым (2004).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В основу исследований положены полевые работы, проводившиеся ранее, в августе 2021 г. На первом этапе обследованы равнинные территории в пределах национального парка Аноуйский в нижнем течении р. Аноуй, в окрестностях оз. Гасси, на втором – горные лесные территории среднего течения р. Аноуй вдоль трассы Лидога – Ванино, наиболее пострадавшие от природных пожаров. В 2022 г. нами проведен повторный детальный осмотр пп, расположенных в гористой части среднего течения р. Аноуй.

Насаждения на отдельных пп были повреждены огнем до последнего лесоустройства

(2002 г.), что нашло отражение в таксационном описании как фактические гари; на других пп они были повреждены после, о чем имеется запись в книге лесных пожаров лесничества. Насаждения состояли в основном из хвойных, что следует из типа леса для гарей в таксационном описании, преобладающие породы – ель аянская (*Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière), береза плосколистная (*Betula platyphylla* Sukaczew), лиственница Каяндера (*Larix cajanderi* Mayr).

Характеристика насаждений на пп представлена в табл. 1.

В ходе полевых работ была получена лесоводственно-таксационная характеристика насаждений, восстановившихся после пожаров (табл. 2).

**Таблица 1.** Таксационные показатели насаждений на пробных площадях (после лесоустройства 2002 г.)

Номер пп	Участковое лесничество	Номер квартала	Номер выдела	ВНУМ	Породный состав	Ярус	Элемент леса	Ср. возраст, лет	Ср. диаметр, см	Ср. высота, м	Бонитет	Тип леса
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Верхне-Аноуйское	112	13	420	4Бж2Лп1Д1Е1П1К  Подрост: 6Е3П1К	1	Бж Лп Д Е П К	130 110 120 80 80 140	40 36 32 20 20 28	20 19 19 17 16 20	IV	ЕШК
2	То же	204	15	687	5Е2П2Бж1Бб  Подрост: 6Е3П1К	1	Е П Бж Бб	80 70 90 70	16 16 14 14	15 14 14 13	IV	ЕРМП
3	Аноуйское	7	6	700	8Бб1Бж1Ос  Подрост: 5Бб3Бж2Е	1	Бб Бж Ос	60 70 60	20 24 24	18 18 17	III	ББК
4	»	9	5	700	Гарь 2009 г. 5Е3П1Л1Бб							ЕКР
5	»	38	16	604	Гарь 1996 г. 5Е3П2Бб + К							ЕРМП
6	»	65	1	604	Гарь 2000 г. 5Е3П2Бж + Л							ЕЗ
6.1	»	40	2	604	Гарь 1996 г. 7Е2Бб1П							ЕД
7	»	15	25	750	Гарь 2000 г. 8Е1Бж1К Подрост: 5Бж4Л1Е							ЕРМП
8	Верхне-Аноуйское	242	5	760	3Е2Л3Бб2Ос  Подрост: 6Ос2Е2Л	1	Е Л Бб Ос	100 100 60 60	16 18 18 20	14 16 16 18	V	ЕВГ

Окончание табл. 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
9	Верхне-Ануйское	248	33	760	Гарь 2012 г. 7Е1П1Л1Бб							ЕМЗ
10	То же	280	6	810	Гарь 2006 г. 8Е1П1Л + Бж							ЕМЗ
11	»	253	6	705	5ЕЗБ6Л1П  Подрост: 6П4Е	1	Е Бб Л П	110 70 140 70	20 24 26 16	16 18 21 14	V	ЕРМП
11.1	»	237	24	705	Гарь 2000 г. 7Л2Е1П1Бб							ЛВГ
12	»	225	22	705	Гарь 1997 г. 6Е2Л1П1Бк							ЕМЗ
13	»	238	8	705	6ЕЗЛ1П  Подрост: 8Е2П	1	Е Л П	70 110 70	18 18 16	15 19 15	IV	ЕВГ
14	»	226	3	705	4ЛЗЕ2П1Бк  Подрост: 7ЕЗП	1	Л Е П Бк	150 140 110 90	26 22 18 20	21 18 16 17	IV	ЛВГ
15	»	227	20	580	8Е1П1Л  Подрост: 5Е5П	1	Е П Л	110 100 130	20 18 22	18 16 21	IV	ЕД
15.1	»	227	11	580	8Е2П+Бк  Подрост: 7ЕЗП	1	Е П	60 60	12 12	12 12	IV	ЕМЗ
16	»	65	21	370	10Л Подрост: 10Л	1	Л	140	30	20	IV	ЛБВ
16.1	»	65	10	370	4Е4П1Бк1Бб  Подрост: 5Е4П1Бк	1	Е П Бк Бб	130 110 60 40	24 20 20 16	19 17 16 15	IV	ЕБКК
17	»	177	23	480	6Л2Е2Бб  Подрост: 8Л2Е	1	Л Е Бб	140 130 50	26 22 26	19 17 14	IV	ЛБВ

*Примечание.* \* Для гари указан исходный породный состав древостоя до пожара. Здесь и далее: К – кедр корейский, Е – ель аянская, П – пихта белокорая (*Abies nephrolepis* (Trautv. ex Maxim.) Maxim.), Л – лиственница Каяндера, Д – дуб монгольский (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), Лп – липы Таке (*Tilia taquetii* C. K. Scheind.) и амурская (*T. amurensis* Rupr.), Бб – береза плосколистная (син. белая), Бж – б. ребристая (син. желтая) (*B. costata* Trautv.), Бк – б. каменная (*B. ermanii* var. *lanata* Regel.), Ос – осина (*Populus tremula* L.). Типы леса: ЕШК – елово-широколиственный с кедром, ЕРМП – ельник разнотравно-мелкопапоротниковый, ББК – белоберезник кустарниковый, ЕКР – ельник кустарниково-разнотравный, ЕЗ – ельник зеленомошник, ЕД – ельник долинный, ЕВГ – ельник высокогорный, ЕМЗ – ельник мелкотравно-зеленомошный, ЛВГ – лиственничник высокогорный, ЛБВ – лиственничник бруснично-вейниковый, ЕБКК – елово-каменноберезовый кустарниковый.

**Таблица 2.** Лесоводственно-таксационная характеристика насаждений, восстановившихся на пп после пожаров

Номер пп	Ярус	Состав		$A_{cp}$ , лет	$H_{cp}$ , м	$D_{cp}$ , см	Подрост				
		Коэффициент	Порода				Порода	Коэффициент	$A_{cp}$ , лет	$H_{cp}$ , м	Количество, тыс. шт./га
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	10	Ив	15	6	4	Д	7	5	3	1.4
		+	Бб	28	10	10	Бж	1	7	3	0.2
		+	Д	70	18	24	Лп	1	6	1.5	0.2
							Ос	1	5	3	0.2
2	1	7	Бб	20	15	14	Бб	7	8	4	1.7
		2	Лп	50	15	28					
		1	Бж	40	15	24	К	2	6	0.5	0.2
		+	К	80	17	28					
	2	6	Ив	15	6	10	Кл	1	5	1.5	0.1
		4	Ол	15	4	3					
	+	Бх	15	6	8						
3	1	5	Бб	35	15	20	Кл	7	7	2.5	1.05
		3	Бж	35	14	20	К	2	14	2	0.3
		1	Кл	15	13	14	Лп	1	6	1.5	0.15
		1	Ол	35	15	18					
4							Бж	5	8	3	0.6
							Бб	3	12	4	0.36
							Лп	1	10	1,2	0.12
							Рб	1	6	3	0.12
							Чм	+	7	2.5	
							К	+	8	0.5	
5	1	9	Бб	30	16	16	Е	6	8	0.8	3
		1	Ив	20	12	12	К	3	12	1.5	1.5
		+	Ос	20	16	14	Кл	1	7	2	0.5
		+	П	60	17	26					
		+	К	40	17	16					
6	1	6	Бб	20	15	12	Бб	6	8	4	0.9
		1	Ив	15	13	8	Е	2	5	0.5	0.3
		1	Бж	15	13	10	Кл	2	7	2	0.3
		1	Ос	15	14	12					
		1	Т	15	15	10					
		+	Л	15	10	12					
6.1	1	6	Бб	30	15	18	Е	6	14	1.5	2.4
		4	Ос	30	16	20	Бб	2	12	4	0.8
	2	6	Бж	15	10	10	Бж	2	10	4	0.8
		4	Л	20	10	8					
7	1	7	Бб	20	12	16	Бж	4	5	3	0.4
		1	Ив	15	12	12	К	2	12	1	0.2
		1	Бж	15	10	10	Е	2	6	1	0.2
		1	Чм	15	10	10	Кл	2	3	1	0.2
		+	Ос	30	20	22					

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
8	1	9	Бб	20	14	12	Бб	5	5	1.5	2
		1	Л	40	14	14	Е	2	12	0.5	0.8
		+	Ос	20	12	14	Л	2	12	1	0.8
							Кл	1	5	1	0.4
9	ед.	+	Л	50	18	20	Бб	7	4	2.5	0.7
		+	Е	50	18	20					
		+	Бб	10	15	18	Л	3	7	0.8	0.3
10	1	7	Бб	15	13	10	Е	5	6	1	1.75
		3	Ол	16	14	10	Л	2	10	1.5	0.7
		+	Л	20	12	10	Бж	2	5	3	0.7
							Кл	1	3	1	0.35
11	1	10	Бб	25	15	16	Л	7	10	1.2	1.05
		+	Л	100	23	30	Е	3	12	1.2	0.45
11.1	1	10	Бб	20	10	6	Бб	10	7	3	1,5
		+	Л	100	23	32					
		+	Ос	25	10	14					
12	1	7	Л	40	12	12	Л	9	12	2.5	3,15
		1	Бб	15	12	10	Ос	1	6	3	0.35
		1	Ол	25	12	16	Е	+	5	0.5	
		1	Ос	25	12	14					
13							Бб	6	10	6	4.8
							Е	1	14	0.5	0.8
							П	1	12	0.5	0.8
							Л	1	15	1.5	0.8
							Ив	1	10	5	0.8
14	1	9	Бб	28	17	20	Бб	8	10	5	2.4
		1	Ос	18	15	20	Кл	2	3	1	0.6
		+	Л	40	15	16	Л	+	8	1.2	
15							Бб	7	10	4	4.9
							Е	1	10	0.3	0.7
							Л	1	10	0.5	0.7
							Кл	1	10	2.5	0.7
15.1							Бб	9	15	6	2.7
							Л	1	17	0.8	0.3
16	1	8	Л	24	14	10	Л	8	13	3	6.4
		2	Бб	20	12	8	Бб	2	10	3	1.6
		+	Л	40	15	16	Е	+	11	0.3	
16.1	1	9	Л	22	12	12	Л	9	15	1.5	6.75
							Бб	1	10	3	0.75
		1	Бб	20	10	10	Е	+	10	0.5	
17	1	10	Л	50	14	10	Л	9	12	1.5	2.7
							Е	1	12	1.2	0.3

Примечание. Ив – ива (*Salix* L.), Ол – ольха пушистая (*Alnus hirsuta* (Spach) Rupr.) и о. кустарниковая (*A. alnobetula* subsp. *fruticosa* (Rupr.) Raus), Бх – бархат амурский (*Phellodendron amurense* Rupr.), Кл – клен мелколистный (*Acer mono* Maxim.), Рб – рябина (*Sorbus* L.), Чм – черемуха обыкновенная (*Prunus padus* L.) и Маака (*Padus maackii* Rupr.), Т – тополь душистый (*Populus suaveolens* Fisch.).

**Таблица 3.** Состав и количество основных древесных пород на пробных площадях

Древесная порода	Ярус	Число пп, ед.		Средний возраст, лет
		где встречается порода	с преобладанием породы	
Береза плосколистная	1	16	11	22
Лиственница Каяндера	1	11	4	43
	2	1	1	
Осина	1	8	0	23
Ива ( <i>Salix</i> sp.)	1	4	1	15
	2	1	1	
Ольха пушистая	1	3	0	23
	2	1	0	
Береза ребристая	1	3	0	15
	2	1	1	
Кедр корейский	1	2	0	60
Ель аянская	1	1	0	50
Пихта белокорая	1	1	0	60
Береза каменная	1	1	0	35
Клен ( <i>Acer</i> sp.)	1	1	0	15
Дуб монгольский	1	1	0	70
Тополь душистый	1	1	0	15
Черемуха Маака	1	1	0	15
Липа Таке	1	1	0	50
Бархат амурский	2	1	0	15

Древостои, сформированные на пробных площадях, в основном одно- и двухъярусные, с явным преобладанием березы плосколистной, наряду с которой участие в сложении древостоев принимают другие мелколиственные породы, а также лиственница Каяндера, которая в составе насаждений преобладает на пробных площадях 12, 16, 16.1, 17. Кроме этих древесных пород на отдельных пп нами отмечены представители широколиственных лесов: клен мелколистный, дуб монгольский, липа Таке и др. (табл. 3).

В результате пожаров из состава насаждений совершенно исчезли пихта белокорая и ель аянская, сохранившись лишь на одной пп. Последняя до пожаров преобладала в составе лесов большинства пп, однако в ходе восстановительной сукцессии ее повсеместно заменила береза плосколистная.

Древостои на пп 1–6 (среднее течение р. Анюй) представлены преимущественно березой плосколистной с участием клена мелколистного, пихты белокорой, ели аянской, липы Таке, дуба монгольского, березы ребристой, кедра корейского, ясеня маньчжурского.

В направлении к верхнему течению реки с увеличением высоты над уровнем моря отмеча-

ется постепенное сокращение видового разнообразия в составе ярусов, число видов снижается с 19–40 (пп 1–7) до 4–27 (пп 8–17).

Насаждения пп преимущественно молодые – от 15 до 30 лет (рис. 2).

На пробных площадях 1, 2, 5, 9, 10, 12, 13 нами отмечены отдельные деревья дуба монгольского возрастом 70 лет, кедра корейского – 40–80 лет, пихты белокорой – 60 лет, березы ребристой, липы амурской – 40–50 лет, лиственницы Каяндера – 40–100 лет. Это сохранившиеся после пожаров представители коренных лесных сообществ.

Растительный покров пп в целом не однороден, и кроме участков вторичных лесов местами здесь сформировались кустарниковые, кустарниково-разнотравные, разнотравно-осоковые заросли, кое-где растительность представляет собой несомкнутые группировки (рис. 3).

В кустарниковом ярусе наиболее часто встречаются багульник подбел (*Ledum hypoleucum* Kom.), ольха кустарниковая, рододендрон даурский (*Rhododendron dauricum* L.), малина сахалинская (*Rubus sachalinensis* H. Lev.). До 2–10 % от исходного количества снизилось проективное покрытие внеярусных растений: отмечают-



Рис. 2. Молодые насаждения березы плосколистной (пп 16).



Рис. 3. Растительный покров пп 16.1.

ся княжик охотский (*Atragene ochotensis* (Pall.) Poir.), реже – актинидия коломикта (*Actinidia kolomikta* (Maxim. & Rupr.) Maxim.), виноград амурский (*Vitis amurensis* Rupr.), лимонник китайский (*Schisandra chinensis* (Turcz.) Baill.).

Связь с коренными типами леса – хвойно-широколиственными и широколиственными – подчеркивают такие представители кустарникового, травяно-кустарничкового ярусов, как лещина маньчжурская (*Corylus sieboldiana* var. *mandshurica* (Maxim.) C. K. Schneid.), барбарис

амурский (*Berberis amurensis* Rupr.), василистник нитчатый (*Thalictrum filamentosum* Maxim.), вальдштейния Максимовича (*Waldsteinia ternata* ssp. *maximovicziana* Juz. ex Teppner), парателптерис японский (*Parathelypteris nipponica* (Franch & A. Sav.) Ching), осока мечевидная (*Carex xiphium* Kom.), кочедыжник красночерешковый (*Athyrium sinense* Rupr.).

На большей части пп отмечено достаточное возобновление как коренных, так и сопутствующих им мелколиственных пород. В составе

**Таблица 4.** Состав и количество основных древесных пород из числа подроста на пробных площадях

Порода	Число шт., ед.		Средний возраст, лет	Средняя высота, м
	где встречена порода	с преобладанием породы		
Береза плосколистная	13	9	9	4.0
Лиственница Каяндера	13	5	12	1.5
Ель аянская	12	3	10	0.7
Клен ( <i>Acer</i> sp.)	9	1	6	1.6
Кедр корейский	5	0	10	1.0
Береза ребристая	4	1	7	2.2
Липа ( <i>Tilia</i> sp.)	2	0	6	1.5
Осина	2	0	6	3.0
Пихта белокорая	1	0	12	0.5
Береза каменная	1	0	8	3.0
Дуб монгольский	1	1	5	3.0
Черемуха Маака	1	0	7	2.5
Ива ( <i>Salix</i> sp.)	1	0	10	5.0
Тополь душистый	1	0	1	0.5

подроста преобладает береза плосколистная, наряду с ней значительное участие принимает лиственница Каяндера (табл. 4).

Возобновление ели аянской, кедра корейского и пихты белокорой стало возможным благодаря благоприятным условиям, которые складываются для этих теневыносливых пород под пологом насаждений из березы плосколистной (рис. 4).

На долю коренных пород в составе подроста приходится порядка 60 %, или около 43 тыс. шт./га (табл. 5).

Более половины растений (56.5 %) были выше 150 см, наиболее крупный подрост на момент

исследования – у березы плосколистной; лиственница и ель уступают ей по высоте, несмотря на более высокий возраст. Основная часть подроста (78.3 %) относится к категории благонадежного. С увеличением ВНУМ коэффициент состава ели аянской в подросте увеличивается. В таксационных описаниях для данной территории также указаны пожары 1998 г., уничтожившие древостой в 9 кварталах, это 4264 га леса, причем жизнеспособные насаждения сохранились только на площади 201 га.

К настоящему времени в 7 из 9 кварталов отмечено формирование нового, молодого древо-



**Рис. 4.** Возобновление темных хвойных пород под пологом белоберезников.



Таблица 5. Характеристика подроста на пробных площадях

Древесная порода	Общее количество, тыс. шт./га	Распределение по высотным группам, тыс. шт./га			Количество по жизненному состоянию, тыс. шт./га		
		мелкий, до 50 см	средний, 51–150 см	крупный, более 151 см	благонадежный	сомнительный	неблагонадежный
Д	1.40	–	–	1.4	1.4	–	–
Бж	2.7	–	–	2.7	2.1	0.6	–
Лп	0.35	–	0.35	–	0.25	0.1	–
Ос	0.55	–	–	0.55	0.35	–	0.2
Бб	25.11	–	2.0	23.11	20.1	1.5	3.51
К	2.2	0.2	1.7	0.3	1.7	0.5	–
Кл	4.2	–	1.65	2.55	2.0	1.3	0.9
Л	23.77	0.7	13.52	9.55	19.05	2.1	2.62
Рб	0.12	–	–	0.12	–	0.12	–
Е	10.7	2.6	8.1	–	8.7	0.3	1.7
П	0.8	0.8	–	–	0.8	–	–
Ив	0.8	–	–	0.8	0.5	0.3	–
Итого...	72.7	4.3	27.32	41.08	56.95	6.82	8.93

стоя. Два квартала пройдены огнем повторно в 2012 г., и возобновление древесных пород там находится на ранней стадии. Отдельные выжившие после пожара деревья со временем стали сухостойными, другие в результате поврежденный лишены нормального роста и развития.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Восстановительная сукцессия на правобережье р. Ануй в верхнем и среднем его течении проходит через смену пород. После пожаров в течение нескольких лет (1–5) на пройденной огнем площади поселилась береза плосколистная, сформировавшая практически монодоминантные насаждения, благоприятные условия под пологом которых позволили возобновиться коренным хвойным породам, таким как ель аянская и лиственница Каяндера. Возобновление пихты белокорой после пожаров крайне затруднено. На обследованной территории березовые леса имеют возраст от 15 до 30 лет, что примерно совпадает с давностью пожаров.

Подрост, сформированный на пп, в основном благонадежный, высотой более 1.5 м, и состоит преимущественно из самой березы, а также ели и лиственницы. Кроме них в его составе нами отмечены породы из числа широколиственных, свойственных данной территории ранее, – представители родов липы, клена и др. Средний возраст подроста – 6–12 лет.

Высота над уровнем моря оказывает влияние на коэффициент участия в составе подроста ели

аянской: с повышением высоты доля ели в составе увеличивается.

В составе кустарникового и травяно-кустарничкового ярусов сохранились представители коренных хвойно-широколиственных лесов: василистник нитчатый, лещина маньчжурская, барбарис амурский и др., а также лианы – княжик охотский, актинидия коломикта, виноград амурский и лимонник китайский, однако проективное покрытие внеярусных растений снизилось до 2–10 % от исходного.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Будзан В. И. Корреляция встречаемости подроста в ельниках Сихотэ-Алиня // Повышение продуктивности лесов Дальнего Востока. Уссурийск: ПСХИ, 1978. С. 22–27. (Тр. ПСХИ; Вып. 55).
- Гуков Г. В. Дальневосточное лесоводство: Учеб. пособие. Владивосток: ДВГУ, 1989. 260 с.
- Исаев В. И., Побединский А. В. Лесоводственная оценка техники и технологии лесосечных работ: Метод. реком. М.: ЦБНТИлесхоз, 1977. 15 с.
- Ковалев А. П. Эколого-лесоводственные основы рубок в лесах Дальнего Востока. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2004. 270 с.
- Комарова Т. А. Послепожарные сукцессии в лесах Южного Сихотэ-Алиня. Владивосток: Дальнаука, 1992. 224 с.
- Концептуальные основы развития лесного комплекса Приморского края на среднесрочную перспективу / под ред. Д. Ф. Ефремова. Владивосток; Хабаровск: ДальНИИЛХ, 2003. 257 с.
- Манько Ю. И. К методике учета естественного возобновления // Сб. тр. ДВФ АН СССР. Владивосток, 1959. Вып. 11. С. 27–32.
- Манько Ю. И. Ель аянская. Л.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1987. 280 с.

- Мелехов И. С., Корконосова Л. И., Чертовский В. Г. Руководство по изучению типов концентрированных вырубок. М.: Наука, 1965. 180 с.
- ОСТ 56-69-83. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. М.: ЦБНТИ Гослесхоза СССР, 1983. 60 с.
- Острошенко В. В., Перевертайло И. И. Активные меры содействия естественному возобновлению в условиях вечной мерзлоты Приохотья. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1999. 70 с.
- Петропавловский Б. С. Оценка состояния пихтово-еловых лесов Сихотэ-Алиньского биосферного района // Методы оценки природной среды. Владивосток: ДВО АН СССР, 1987. С. 88–97.
- Побединский А. В. Изучение лесовосстановительных процессов. М.: Наука, 1966. 64 с.
- Распоряжение Правительства Российской Федерации от 15.12.2007 № 1838-р «Об учреждении Национального парка Анюйский». М.: Правительство РФ, 2007.
- Ресурсы поверхностных вод СССР. Гидрологическая изученность. Л.: Гидрометеиздат, 1966. Т. 18: Дальний Восток. Вып. 1: Амур. 486 с.
- Сукачев В. Н., Зонн С. В. Методические указания к изучению типов леса. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во АН СССР, 1961. 144 с.
- Урусов В. М. Генезис растительности и рациональное природопользование на Дальнем Востоке. Владивосток: ДВО АН СССР, 1988. 355 с.
- Чумин В. Т. Эксплуатация и лесовосстановление елово-пихтовых лесов низовий Амура // Сб. тр. ДальНИИЛХ. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1963. Вып. 5. С. 58–70.
- Шейнгауз А. С., Ефремов Д. Ф., Ковалев А. П., Перевертайло И. И. Лесные ресурсы Дальневосточного экономического района: состояние, использование, воспроизводство: Нормат.-справ. материалы. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1989. 42 с.
- Шешуков М. А., Савченко А. П., Пешков В. В. Лесные пожары и борьба с ними на севере Дальнего Востока. Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1992. 95 с.
- Эколого-экономическое обоснование национального парка «Анюйский». Отчет / Науч. рук. проекта д-р. биол. наук Б. А. Воронов. Хабаровск: WWF, 2000. 160 с.

## POST-FIRE SUCCESSION IN CONIFEROUS-BROAD-LEAVED FORESTS OF THE ANYUSKIY NATIONAL PARK

A. G. Matveeva<sup>1</sup>, R. S. Velikiy<sup>2</sup>, A. L. Grebenyuk<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Pacific State University

Tikhookeanskaya str., 136, Khabarovsk, 680035, Russian Federation

<sup>2</sup> Institute of Water and Environmental Problems, Russian Academy of Sciences, Far Eastern Branch

Dikopoltsev str., 56, Khabarovsk, 680021, Russian Federation

<sup>3</sup> Bratsk State University

Makarenko str., 40, Bratsk, 665709, Russian Federation

---

E-mail: 000337@pnu.edu.ru, 2018100620@pnu.edu.ru, as17vl@list.ru

Forest ecosystems of the Anyuy river basin were chosen as the object of study, which have undergone significant changes due to wood harvesting, starting in the 50–60s of the twentieth century, and catastrophic fires in the late 1990s and early 2000s. The purpose of the study was to study the course of post-fire succession in the coniferous-deciduous forests of the Anyuskiy National Park, for which 21 sample plots were established in the mountainous part of the basin of the middle and upper reaches of the Anyuy river, on its right bank, in places affected by forest fires in different years. Quantitative recording and assessment of silvicultural and forest survey indicators of the stand, the lower stand layer and undergrowth were carried out on the sample plots. During the study, it was found that throughout the surveyed territory, young flat-leaved birch (*Betula platyphylla* Sukaczew) trees aged from 15 to 30 years were formed with a single participation of broad-leaved species, such as small-leaved maple (*Acer mono* Maxim.), Take linden (*Tilia taquetii* C. K. Scheind.), Mongolian oak (*Quercus mongolica* Fisch. ex Ledeb.), Manchurian ash (*Fraxinus mandshurica* Rupr.) etc. As a result of fires, due to the composition of the stands, native coniferous species disappeared as Ayan spruce (*Picea jezoensis* (Siebold & Zucc.) Carrière), white fir (*Abies nephrolepis* (Trautv. ex Maxim.) and Korean pine (*Pinus koraiensis* Siebold et Zucc.), which were noted in the composition of the undergrowth, and appeared there due to favorable conditions developing for these shade-loving species under the canopy of flat-leaved birch. With movement to the east and with increasing altitude above sea level, the participation of Ayan spruce in the composition of the undergrowth increases, however, in general, the species diversity in the composition of the layers decreases from 19–40 to 4–27 species. The composition of the undergrowth is dominated by flat-leaved birch and Cayander larch (*Larix cajanderi* Mayr), the share of the main species accounts for about 60 % of the total amount of undergrowth. Mostly, the undergrowth is reliable (78 %), 56 % of it has a height of more than 1.5 m. In the shrub and grass-shrub layers, representatives of indigenous coniferous-deciduous forests are noted: Manchurian hazel (*Corylus mandshurica* Maxim.), Amur barberry (*Berberis amurensis* Rupr.), filamentous cornflower (*Thalictrum filamentosum* Maxim.), Waldsteinia Maksimovich (*Waldsteinia maximowicziana* (Teppner) Prob.) etc.

**Keywords:** regenerative succession, forest biocoenosis, sample plot, tree stand, undergrowth.

**How to cite:** Matveeva A. G., Velikiy R. S., Grebenyuk A. L. Post-fire succession in coniferous-broad-leaved forests of the Anyuskiy national park // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 85–97 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630\*43:630.431.2

**ВЛИЯНИЕ НИЗОВЫХ ПОЖАРОВ НА ЖИВОЙ НАПОЧВЕННЫЙ ПОКРОВ В СОСНЯКАХ ЮЖНОЙ ТАЙГИ****Н. М. Ковалева, Г. А. Иванова, С. В. Жила***Институт леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленное подразделение ФИЦ КНЦ СО РАН  
660036, Красноярск, Академгородок, 50/28*

E-mail: nk-75@mail.ru, gaivanova@ksc.krasn.ru, getgain@mail.ru

*Поступила в редакцию 06.06.2023 г.*

Рассмотрены закономерности восстановления живого напочвенного покрова после экспериментальных пожаров разной интенсивности (924–4275 кВт/м) в южно-таежных сосновых насаждениях Нижнего Приангарья. Установлено, что пожары, в зависимости от их интенсивности, привели к снижению видового разнообразия (индекса Шеннона), видового богатства, проективного покрытия и надземной фитомассы травяно-кустарничкового яруса. На 12, 13-й годы пирогенной сукцессии видовое богатство травяно-кустарничкового яруса на 60–75 % представлено видами допожарного сообщества. Проективное покрытие доминанта – брусники (*Vaccinium vitis-idaea* L.) – составляло 66–84 % от допожарного значения, надземная фитомасса травяно-кустарничкового яруса – 43–68 % от исходной. Пожары средней и высокой интенсивности привели к гибели мохово-лишайникового покрова, при пожаре низкой интенсивности моховой покров сохранился на не пройденных огнем участках. На 12 и 13-й год после пожаров проективное покрытие мохово-лишайникового покрова составило 15–26 % от допожарного значения. Наблюдалось восстановление допожарных мхов – плевроциума Шребера (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.), дикранума многоножкового (*Dicranum polysetum* Sw.), а также пионерных лишайников рода *Cladonia* – кладонии гроздевидной (*Cladonia botrytis* (K. G. Hagen) Willd), к. пустовой (*Cl. cenotea* (Ach.) Schaer.), к. рогадой (*Cl. cornuta* (L.) Hoffm.), к. бесформенной (*Cl. deformis* (L.) Hoffm.), к. изящной (*Cl. gracilis* (L.) Willd). Низовые пожары средней и высокой интенсивности привели к изменению границ допожарных растительных микрогруппировок. Через 12 лет после низкоинтенсивного пожара преобладали допожарные микрогруппировки (бруснично-разнотравно-зеленомошная и бруснично-зеленомошная). На 13-й год после среднеинтенсивного пожара в границах допожарной бруснично-лишайниково-зеленомошной микрогруппировки сформировалась брусничная. Высокоинтенсивный пожар привел к увеличению числа растительных микрогруппировок. В напочвенном покрове доминировали растительные микроассоциации – лишайниково-политриховая, бруснично-политриховая, разнотравно-политриховая, политриховая, майниковая, бруснично-плауново-политриховая, бруснично-лишайниковая, лишайниковая.

**Ключевые слова:** *сосновые насаждения, пирогенная сукцессия, экспериментальные выжигания, живой напочвенный покров, видовое разнообразие, напочвенная фитомасса, растительная микрогруппировка, Нижнее Приангарье, Красноярский край.*

DOI: 10.15372/SJFS20230610

**ВВЕДЕНИЕ**

Пожары относятся к важным экологическим факторам, влияющим на лесные экосистемы, изменяющим их структуру и видовой состав (Franklin et al., 2002), свойства почвы (Köster et al., 2016), нижние ярусы растительности (Marozas et al., 2007; Parro et al., 2009; Jean et al., 2017; Liu et al., 2020) и лесную фауну (Übeda, Sarricolea, 2016). Нижние ярусы растительности – менее защищены от воздействия огня, чем

древесные виды. Так, сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) может выживать при пожарах слабой и средней силы благодаря формированию толстой коры (Kuuluvainen et al., 2002), в то время как подлесок и более молодые деревья погибают. При пожарах высокой интенсивности происходит снижение мощности лесной подстилки и гумусового горизонта почвы, что приводит к гибели корневой системы и семян, находящихся в почве (Schimmel, Granstrom, 1996). Послепожарное восстановление растений разных жиз-

ненных форм может варьировать от нескольких лет до 100 лет и более (Gorshkov, Bakkal, 1996; Marozas et al., 2007).

После пожаров видовое разнообразие может увеличиваться за счет быстрорастущих светолюбивых видов (в результате осветления древесного полога), а также видов, чувствительных к содержанию питательных веществ в почве (Grandpré et al., 1993; Marozas et al., 2007). Пройденные огнем участки имеют более высокий уровень рН почвы, менее мощный слой гумусового горизонта, а также повышенное содержание доступных питательных веществ (Simard et al., 2001; Certini, 2005), что делает среду благоприятной для колонизации видов, быстро адаптирующихся к нарушенным местообитаниям (Marozas et al., 2007; Parro et al., 2009).

В ходе пирогенной сукцессии происходит снижение питательных веществ и рН почвы (Brais et al., 1995; Paré, Bergeron, 1996; Liu et al., 2017), что приводит к изменениям в видовом разнообразии и обилии видов. На разных стадиях послепожарной сукцессии доминируют различные жизненные формы растений, на начальной стадии – пионерные виды (травянистые виды и печеночные мхи), которые постепенно сокращают свое обилие в течение следующих десятилетий, тогда как обилие поздних сукцессионных видов, таких как листостебельные мхи, увеличивается на более поздних стадиях сукцессии (Grandpré et al., 1993; Marozas et al., 2007; Hart, Chen, 2008; Paquette et al., 2016; Jean et al., 2017, 2019; Liu et al., 2020).

Цель исследования заключалась в изучении влияния пожаров разной интенсивности на живой напочвенный покров.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

По ботанико-географическому районированию Л. В. Шумиловой (1962), район исследований входит в состав Ангарской провинции.

Преобладают сосновые леса на песчаных и супесчаных отложениях, а также елово-пихтовые леса на дерново-подзолистых суглинистых почвах (Любимова, 1964). Исследования проведены в сосняках Нижнего Приангарья (58°42' с. ш., 98°25' в. д.). Климат района исследований описан в коллективной монографии (Воздействие..., 2022). Характеристика древостоев на пробных площадях (пп) приведена в табл. 1.

Почвы на пробных площадях представлены иллювиально-железистыми песчаными подзолами. В 2002 и 2003 гг. в сосняках проведены эксперименты по моделированию поведения лесных пожаров разной интенсивности (Иванова и др., 2022). Согласно классификации лесных пожаров по их интенсивности D. J. MacRae и соавт. (2006), сосняк бруснично-разнотравно-зеленомошный (пп 1) пройден пожаром низкой интенсивности (924 кВт/м), сосняки кустарничково-лишайниково-зеленомошные (пп 2 и 3) пройдены пожарами средней (3430 кВт/м) и высокой (4275 кВт/м) интенсивности. На рис. 1 приведены исследуемые сосняки до и после пожаров разной интенсивности.

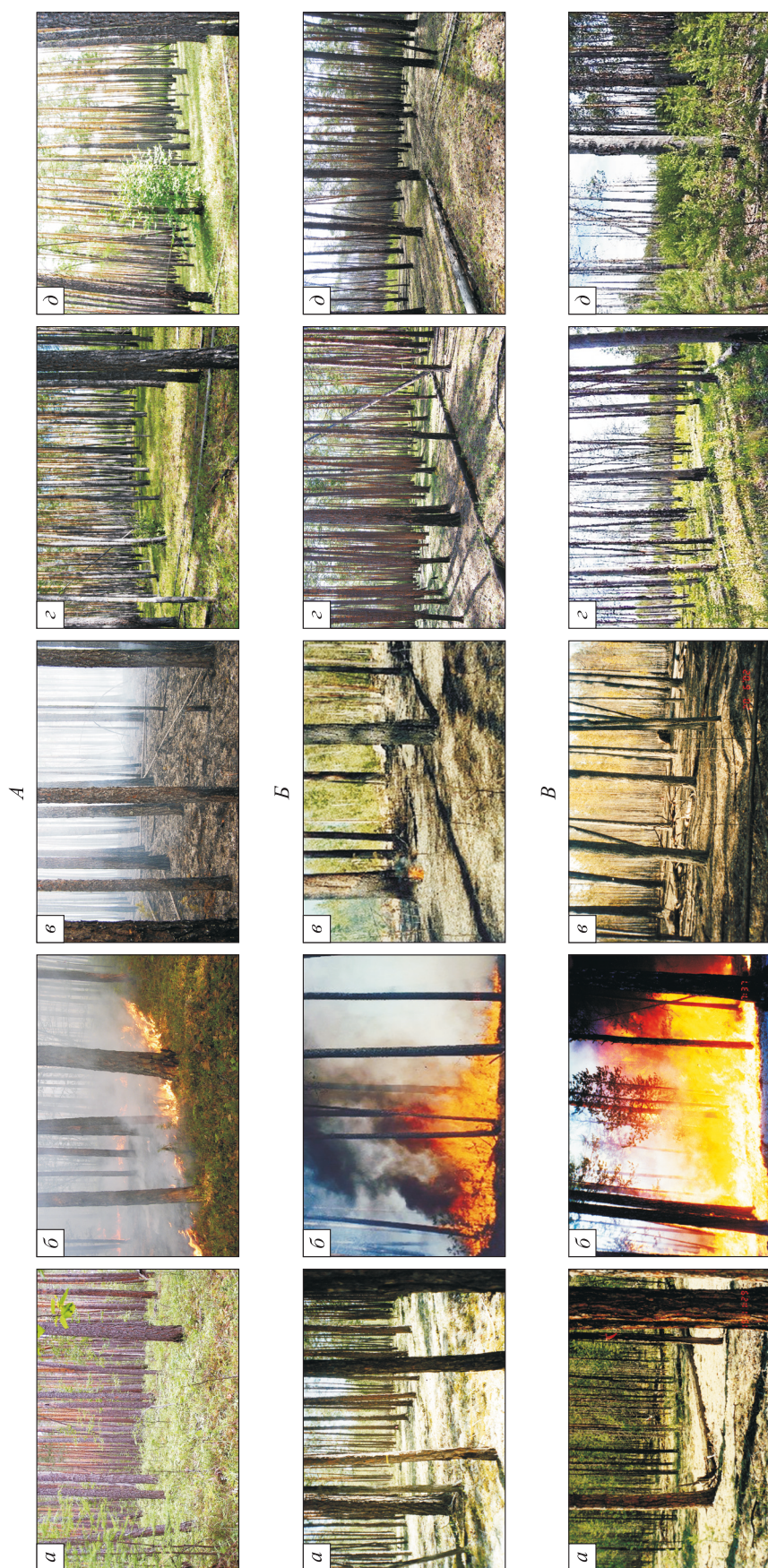
До и после экспериментальных выжиганий на пп (размером 1–2 га каждая) оценивались видовое богатство и проективное покрытие видов на постоянных учетных площадках размером 1 × 1 м (35 шт. на каждой пп). Надземная фитомасса отбиралась рамкой 20 × 25 см (20 шт. на каждой пп) с последующим разбором по видам, высушиванием до абсолютно-сухого состояния и определением массовой доли каждого вида в укосе.

Для изучения горизонтальной структуры фитоценоза проводили ежегодное или с интервалом в 2–3 года картирование растительных микроассоциаций. Степень видового разнообразия оценивали с помощью индекса Шеннона (Шмидт, 1984). Номенклатура сосудистых растений и мхов дана согласно «The Plant List...» (2011–2020), лишайников – «Списка лишенофлоры России...» (2010). Для статистической

**Таблица 1.** Лесоводственно-таксационная характеристика сосновых насаждений до проведения экспериментальных выжиганий (Воздействие..., 2022)

Номер пп	Состав (возраст, лет)	Средние		Густота, шт./га	Полнота	Бонитет
		D, см	H, м			
1	10С (80) ед. Л, Ос	16.9	18.8	1800	1.0	III
2	10С (90)	25.2	22.1	698	1.0	III
3	10С (100)	26.7	22.7	461	0.8	III

Примечание. С – сосна обыкновенная; Л – лиственница (*Larix Mill.*); Ос – осина (*Populus tremula L.*).



**Рис. 1.** Пирогенная сукцессия после пожаров разной интенсивности в южно-таежных сосняках после пожаров низкой интенсивности в сосняке бруснично-разнотравно-зеленомошном (А, пп 1), средней интенсивности в сосняке кустарничково-лишайничково-зеленомошном (Б, пп 2) и высокой интенсивности в сосняке кустарничково-лишайничково-зеленомошном (Б, пп 3).

а – до пожара; б – пожар; в – сразу после пожара; з – через 7 лет после пожара; д – через 12–13 лет после пожара.

обработки данных применялся двухфакторный дисперсионный анализ. Влияние исследуемого фактора определялось по критерию Фишера.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

До проведения пожарных экспериментов в травяно-кустарничковом ярусе (ТКЯ) исследуемых сосновых насаждений выявлен 21 вид, относящийся к 18 родам и 15 семействам. В мохово-лишайниковом покрове обнаружено 13 видов (5 лишайников, 8 мхов) (табл. 2).

До проведения выжиганий наибольшее видовое разнообразие (индекс Шеннона) отмечено на пп 1 ( $H = 2.36$ ), пп 2 и 3 характеризовались низким видовым разнообразием ( $H = 1.50$  и  $1.93$  соответственно) (рис. 2).

Проективное покрытие травяно-кустарничкового яруса варьировало от 31 % (пп 2) до 62 % (пп 1). В травяно-кустарничковом ярусе доминировал вид *Vaccinium vitis-idaea* L., проективное покрытие которого варьировало от 15 (пп 3) до 35% (пп 1), встречаемость составляла 92–100 %. Проективное покрытие мохово-лишайникового покрова составляло 82–98 %, где доминиро-

**Таблица 2.** Проективное покрытие видов живого напочвенного покрова до и после пожаров разной интенсивности

Вид	Сосняк бруснично-разнотравно-зелено-мошный (пп 1)				Сосняк кустарничково-лишайниково-зелено-мошный (пп 2)				Сосняк кустарничково-лишайниково-зелено-мошный (пп 3)			
	Интенсивность пожара, кВт/м*											
	низкая (924)				средняя (3430)				высокая (4275)			
	Период после пожара, лет											
	До по-жара	3	5	12	До по-жара	3	7	13	До по-жара	3	7	13
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Травяно-кустарничковый ярус</b>	<b>62.4</b>	<b>34.7</b>	<b>38.0</b>	<b>36.0</b>	<b>31.1</b>	<b>19.8</b>	<b>26.4</b>	<b>17.7</b>	<b>46.1</b>	<b>23.6</b>	<b>38.3</b>	<b>22.4</b>
<i>Anemone flavescens</i> (syn. <i>Pulsatilla flavescens</i> )	2.9	1.5	2.0	1.7	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>A. reflexa</i>	0.1	0.4	0.1	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Antennaria dioica</i>	0.1	0.1	0.1	0.2	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Calamagrostis arundinacea</i> (L.) Roth	3.7	3.6	4.5	0.9	0.3	0.4	0.3	0.3	1.3	2.7	5.3	2.3
<i>Carex pediformis</i> var. <i>macroura</i> (syn. <i>Carex macroura</i> )	0.1	0.1	0.2	0.2	–	–	–	–	0.2	–	–	–
<i>Epilobium angustifolium</i> L. (syn. <i>Chamerion angustifolium</i> )	0.1	0.2	0.1	–	–	–	–	–	–	0.6	1.0	0.4
<i>Equisetum pratense</i> Ehrh.	0.2	0.1	0.1	–	–	–	0.6	–	0.2	–	–	–
<i>Euphorbia esula</i> subsp. <i>tommasiniana</i> (Bertol.) Kuzmanov (syn. <i>Euphorbia virgata</i> )	–	–	–	0.1	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Goodyera repens</i>	0.1	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Iris ruthenica</i> Ker Gawl.	4.1	3.2	2.8	1.8	–	–	–	–	0.1	0.1	0.3	–
<i>Ledum palustre</i> L.	–	–	–	–	6.5	3.5	4.4	0.8	4.5	0.9	3.5	1.2
<i>Linnaea borealis</i> L.	6.7	3.4	2.8	3.0	0.3	0.1	0.3	–	0.5	0.1	0.8	–
<i>Luzula pilosa</i> (L.) Willd.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0.2
<i>Lycopodium complanatum</i> L.	0.1	–	–	–	0.8	0.6	0.4	0.6	1.0	0.5	0.5	0.7
<i>Maianthemum bifolium</i> (L.) F. W. Schmidt	6.3	2.3	3.2	1.8	0.8	2.1	1.4	1.2	1.4	1.9	4.2	3.4
<i>Orthilia secunda</i>	0.1	–	0.4	0.1	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Oxalis acetosella</i> L.	–	–	–	2.6	–	–	–	0.3	–	–	–	0.2
<i>Pedicularis palustris</i> subsp. <i>karoii</i> (syn. <i>Pedicularis karoii</i> )	0.2	0.3	0.3	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Pyrola rotundifolia</i> L.	1.1	0.3	0.2	0.1	–	0.1	–	–	–	0.1	–	–
<i>Rubus saxatilis</i>	0.2	–	0.2	–	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Scorzonera radiata</i> Fisch. ex Fisch.	–	–	–	0.1	–	–	–	–	–	–	–	–

Окончание табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	0.1	0.1	0.1	0.1	6.1	4.2	3.6	0.9	18.6	4.1	5.0	1.8
<i>V. uliginosum</i> L.	–	–	–	–	0.1	0.3	0.3	–	3.0	0.1	0.9	0.3
<i>V. vitis-idaea</i> L.	34.8	18.9	20.6	23.0	16.2	8.5	15.1	13.6	15.3	12.5	16.8	11.9
<i>Viola mirabilis</i>	1.1	0.1	0.3	0.2	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>V. uniflora</i>	0.3	0.1	–	0.1	–	–	–	–	–	–	–	–
<b>Мохово-лишайниковый ярус</b>	<b>81.5</b>	<b>4.2</b>	<b>12.9</b>	<b>20.7</b>	<b>98.0</b>	<b>0.2</b>	<b>3.1</b>	<b>14.7</b>	<b>98.0</b>	<b>0.6</b>	<b>11.5</b>	<b>26.7</b>
<i>Cladonia arbuscula</i>	0.2	–	–	–	5.4	–	–	0.5	11.0	–	–	2.3
<i>Cl. botrytes</i> (K. G. Hagen) Willd.	–	–	–	–	–	–	–	1.4	–	–	–	2.3
<i>Cl. cenotea</i> (Ach) Schaer.	–	–	–	–	–	–	–	0.2	–	–	–	0.1
<i>Cl. cornuta</i> (L.) Hoffm	–	–	–	–	1.8	–	–	1.0	3.3	–	–	1.0
<i>Cl. deformis</i> (L.) Hoffm	–	–	–	–	1.1	–	–	0.1	0.7	–	–	0.1
<i>Cl. gracilis</i> (L.) Willd.	–	–	–	–	2.2	–	–	0.7	1.9	–	–	1.5
<i>Cl. rangiferina</i> (L.) F. H. Wigg.	0.4	–	–	–	15.8	–	–	0.1	17.6	–	–	–
<i>Cl. stellaris</i>	–	–	–	–	2.9	–	–	–	6.5	–	–	–
<i>Cl. uncialis</i>	–	–	–	–	0.1	–	–	–	0.4	–	–	0.2
<i>Ceratodon purpureus</i>	–	–	–	–	–	–	–	0.6	–	–	–	0.2
<i>Dicranum polysetum</i> Sw.	11.9	1.8	5.4	9.9	11.3	–	2.4	4.7	4.2	–	0.1	2.6
<i>Hylocomium splendens</i>	0.1	–	–	0.1	–	–	–	–	–	–	–	–
<i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.) Mitt.	68.8	2.4	7.4	10.5	56.0	–	0.4	0.8	51.0	–	2.6	1.0
<i>Polytrichum commune</i> Hedw.	–	–	0.1	0.1	0.4	0.1	0.3	0.6	1.0	0.3	8.8	3.1
<i>P. strictum</i> Menzies ex Brid.	–	–	–	–	1.0	0.1	–	4.0	0.4	0.3	–	12.3
<i>Ptilium crista-castrensis</i>	0.1	–	–	0.1	–	–	–	–	–	–	–	–
<b>В с е г о видов ...</b>	<b>26</b>	<b>18</b>	<b>20</b>	<b>21</b>	<b>19</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>19</b>	<b>22</b>	<b>13</b>	<b>13</b>	<b>22</b>

\* По данным D. J. McRae и соавт (2006).

вал *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt. (табл. 2). Встречаемость мха в допожарных сообществах варьировала от 84 (пп 3) до 98 % (пп 1). Допожарная надземная фитомасса травяно-кустарничкового яруса на пробных площадях варьировала от  $32.3 \pm 7.3$  (пп 2) до  $55.4 \pm 11.7$  (пп 3) г/м<sup>2</sup>. Основная доля приходилась на *Vaccinium vitis-idaea* L. (85 %). Фитомасса мохово-лишайникового покрова варьировала в широких пределах – от  $827 \pm 113$  (пп 1) до  $1666 \pm 310$  (пп 3) г/м<sup>2</sup>. Доля мхов составляла от 55 (пп 2 и 3) до 90 (пп 1) %.

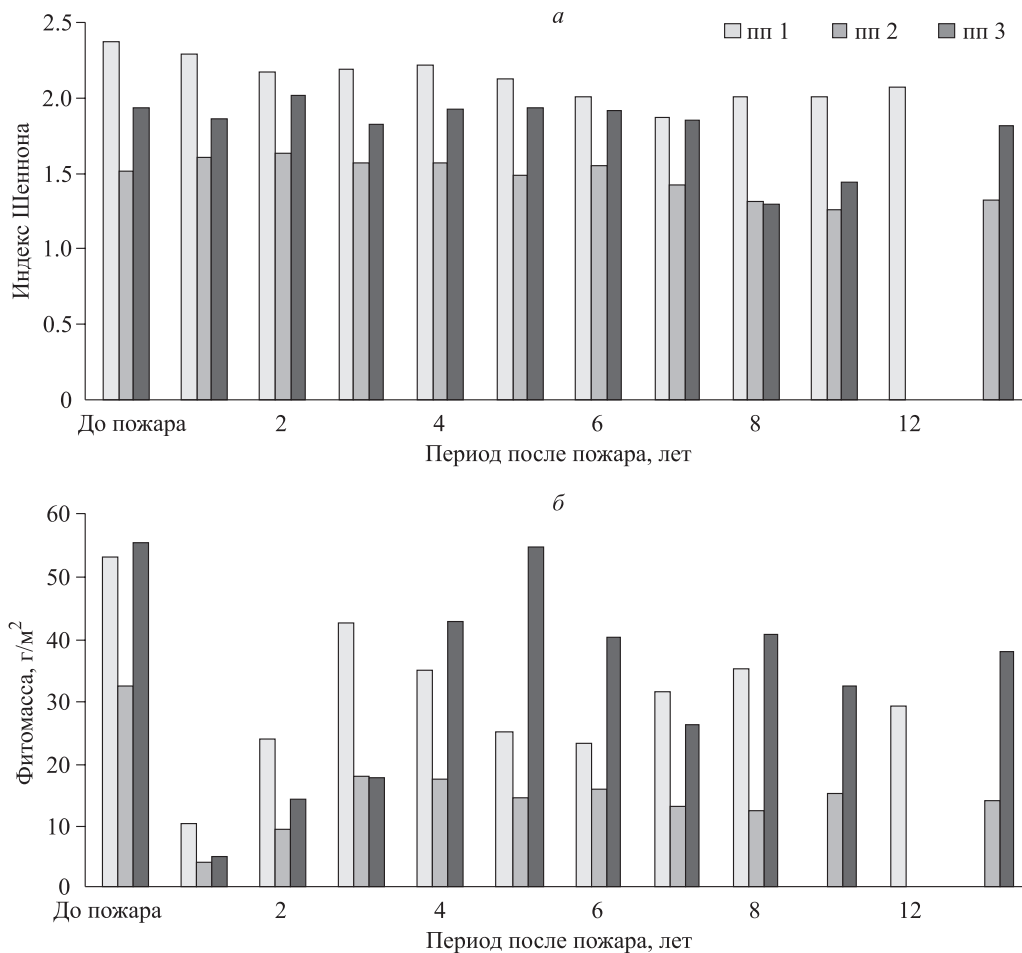
Начальная стадия пирогенной сукцессии характеризуется увеличением видового богатства за счет как пионерных видов, так и восстановления видов допожарного сообщества (Wang, Kembal, 2005; Marozas et al., 2007; Ruokolainen, Salo, 2009). Ранние сукцессионные виды заселяют гари на 1–3-й год пирогенной сукцессии, восстановление трав и кустарничков, преобладавших в допожарном сообществе, отмечается через 5–6 лет (Marozas et al., 2007).

Установлено, что в зависимости от интенсивности пожары привели к снижению видового бо-

гатства травяно-кустарничкового яруса (табл. 2). В течение первого вегетационного сезона после пожаров независимо от их интенсивности наблюдалось восстановление кустарничкового и травяного покрова. При увеличении послепожарного периода видовое богатство травяно-кустарничкового яруса существенно не изменялось (табл. 2). В результате пирогенной сукцессии в травяно-кустарничковом покрове появляются виды: *Euphorbia esula* subsp. *tommasiniana* (Bertol.) Kuzmanov, *Hieracium umbellatum* L., *Oxalis acetosella* L., *Scorzonera radiata* Fisch. ex Fisch., *Chelidonium majus* L., *Equisetum pratense* Ehrh., *Pyrola rotundifolia* L., *Epilobium angustifolium* L., *Luzula pilosa* (L.) Willd. На 12, 13-й год после пожаров в травяно-кустарничковом ярусе выявлен 21 вид из 18 родов и 16 семейств, в мохово-лишайниковом покрове – 15 видов (8 лишайников и 7 мхов). Видовое богатство травяно-кустарничкового яруса состояло на 60–75 % из видов допожарного сообщества.

Пожары в зависимости от их интенсивности привели к снижению видового разнообразия (индекса Шеннона) ТКЯ ( $F = 70.33, p < 0.0001$ ),





**Рис. 2.** Видовое разнообразие (индекс Шеннона) и фитомасса травяно-кустарничкового яруса после пожаров разной интенсивности.

которое возрастает при увеличении послепожарного периода ( $F = 4.39, p = 0.004$ ) (табл. 3). Пожары низкой и средней интенсивности привели к снижению индекса Шеннона. На 1–6-й год после пожара высокой интенсивности видовое разнообразие увеличилось, в последующие годы отмечена тенденция к снижению данного показателя (рис. 2, а).

Пожары средней и высокой интенсивности приводят к гибели мохово-лишайникового покрова, при низкоинтенсивном пожаре моховой покров сохраняется на непрогоревших участках. При увеличении периода после пожара видовое богатство мохово-лишайникового яруса (МЛЯ) возрастает ( $F = 6.33, p < 0.0004$ ) (табл. 3).

Пирогенно-минерализованные участки, образовавшиеся на месте погибшего лишайникового покрова, заселяют пионерные виды мхов (*Polytrichum commune* Hedw., *P. strictum* Menzies ex Brid.). На 12-й год пирогенной сукцессии наблюдалось восстановление как допожарных мхов (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., *Dicranum polysetum* Sw.), так и лишайников,

характерных для начальной стадии пирогенной сукцессии (*Cladonia botrytes* (K. G. Hagen) Willd., *Cl. cenotea* (Ach) Schaer., *Cl. cornuta* (L.) Hoffm., *Cl. deformis* (L.) Hoffm., *Cl. gracilis* (L.) Willd.) (табл. 2).

В зависимости от интенсивности пожары привели к снижению проективного покрытия ТКЯ в 1.7–2 раза по сравнению с допожарной величиной ( $F = 13.50, p < 0.0002$ ).

Наибольшее влияние интенсивность пожаров оказала на снижение проективного покрытия травяного покрова ( $F = 26.34, p < 0.0001$ ), наименьшее – на кустарнички ( $F = 5.32, p < 0.015$ ) (табл. 3).

Низкоинтенсивный пожар на пп 1 привел к снижению проективного покрытия доминанта *Vaccinium vitis-idaea* L., а также содоминантных видов – *Iris ruthenica* Ker Gawl., *Linnaea borealis* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt. При пожарах средней и высокой интенсивности на пп 2 и 3 отмечено снижение проективного покрытия кустарничков – *Vaccinium vitis-idaea* L., *V. myrtillus* L., *V. uliginosum* L., *Ledum palustre* L.

**Таблица 3.** Влияние интенсивности пожара и длительности послепожарного периода (лет) на основные характеристики живого напочвенного покрова

Характеристики	Интенсивность пожара			Период после пожара		
	MS	F	p	MS	F	p
Видовое богатство:						
ТКЯ	134.4	82.8	< 0.0001	2.25	1.39	0.26
МЛЯ	2.13	0.74	0.49	18.21	6.33	<b>0.0004</b>
трав	166.23	63.84	< 0.0001	4.90	1.88	0.12
кустарничков	15.10	110.19	< 0.0001	0.23	1.65	0.17
мхов	7.50	16.20	< 0.0001	5.44	11.75	< 0.0001
лишайников	1.43	0.72	0.49	7.42	3.73	<b>0.008</b>
Индекс Шеннона ТКЯ	0.96	70.33	< 0.0001	0.06	4.39	<b>0.004</b>
Проективное покрытие:						
ТКЯ	318.69	13.50	<b>0.0002</b>	42.92	1.82	0.13
МЛЯ	89.57	7.32	<b>0.005</b>	139.13	11.37	< 0.0001
кустарничков	79.95	5.32	<b>0.015</b>	85.60	5.70	<b>0.0008</b>
трав	387.78	26.34	< 0.0001	9.30	0.63	0.75
мхов	45.77	2.14	0.15	124.66	5.83	<b>0.0007</b>
лишайников	0.42	0.27	0.76	5.23	3.41	<b>0.01</b>
Фитомасса:						
ТКЯ	930.78	12.79	<b>0.0003</b>	180.15	2.47	0.05
МЛЯ	587.35	40.29	< 0.0001	37.62	2.58	<b>0.04</b>

Примечание. MS – сумма квадратов; F – значение критерия Фишера; p – минимальная обеспеченность, удовлетворяющая критерию Фишера.

Восстановление проективного покрытия кустарничков зависело от интенсивности пожара и от послепожарного периода (табл. 3). На 12, 13-й год после пожара проективное покрытие доминанта травяно-кустарничкового яруса *Vaccinium vitis-idaea* L. после низко интенсивного пожара составило 66 % от допожарного значения, после пожара средней и высокой интенсивности – 84 и 78 % соответственно. На 12, 13-й год после пожаров встречаемость вида составляла 88–97 %.

В зависимости от интенсивности пожары привели к снижению проективного покрытия МЛЯ ( $F = 7.32$ ,  $p = 0.005$ ), которое возрастает при увеличении времени после пожара ( $F = 11.37$ ,  $p < 0.0001$ ).

На 12, 13-й послепожарный год проективное покрытие МЛЯ составило 15–26 % от допожарного значения. Проективное покрытие допожарных мхов после пожара низкой интенсивности составило 20.5 %, средней интенсивности – 5.5 %, высокой – 3.3 %. Встречаемость допожарного мха *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt. составила: 60 % – после пожара низкой интенсивности, 19 % – средней интенсивности и 12 % – высокой интенсивности. Проективное покрытие допожарных лишайников (*Cladonia arbusculara* (Wallr.) Flot., *Cl. rangiferina* (L.)

F. H. Wigg.) не превышало 2 %. После высокоинтенсивного пожара в напочвенном покрове отмечено увеличение участия политриховых мхов, проективное покрытие которых составляло 15 %.

Установлено, что экспериментальные пожары в зависимости от их интенсивности привели к снижению фитомассы ТКЯ ( $F = 12.79$ ,  $p = 0.0003$ ) (табл. 3). В допожарном сообществе основная доля в фитомассе приходилась на *Vaccinium vitis-idaea* L. (80 %). На следующий год после пожара низкой интенсивности фитомасса ТКЯ составила 19 % от допожарной, после пожаров средней и высокой – 12 и 9 % соответственно (рис. 2, б).

При увеличении послепожарного периода фитомасса ТКЯ возрастает ( $F = 2.47$ ,  $p = 0.05$ ). На 3-й год пирогенной сукцессии после пожара низкой интенсивности в общей фитомассе увеличилась доля травянистых видов – *Linnaea borealis* L. (10 %) и *Iris ruthenia* Ker Gawl. (8 %). Среднеинтенсивный пожар привел к снижению фитомассы ТКЯ, и на протяжении периода наблюдений фитомасса имела низкие значения (рис. 2, б). На 5-й год после высокоинтенсивных пожаров отпад деревьев составил 71 % (Иванова и др., 2022), что привело к осветлению древесного полога. В связи с этим в общей фитомассе яруса увеличилась доля светлюбивого вида

*Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth (22 % от общей фитомассы). На 12, 13-й год пирогенной сукцессии фитомасса не достигла своих допозжарных значений и при низкой интенсивности составила 55 % от исходной, при средней интенсивности – 43 % и при высокой интенсивности – 68 %.

В зависимости от интенсивности пожары привели к снижению фитомассы МЛЯ ( $F = 40.29$ ,  $p = < 0.0001$ ). На 12-й год после низкоинтенсивного пожара фитомасса мхов составила 50 % от допозжарного значения и состояла из допозжарных видов (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., *Dicranum polysetum* Sw.). После пожаров средней и высокой интенсивности она имела низкие значения (1 % от допозжарного значения), где основная доля приходилась на мхи рода *Polytrichum*.

Изменение границ растительных микрогруппировок отражает степень нарушения, происходящего в лесном фитоценозе. Наибольшее число растительных микрогруппировок отмечается на начальной стадии пирогенной сукцессии. Исследования показали, что ведущими факторами формирования элементов мозаики являются осветление древесного полога, а также неоднородность прогорания лесной подстилки. Основной отпад деревьев в сосновых насаждениях после пожаров приходился на первые 2–3 года (более 90 %). На 3-й год после пожара высокой интенсивности отпад составил 71 % от числа живых деревьев до пожара, после пожаров средней интенсивности – 14, низкой интенсивности – 5 % (Иванова и др., 2022).

При пожаре низкой интенсивности на пп 1 глубина прогорания подстилки варьировала от 0 до 7 см. На 1–5-й год после пожара на месте допозжарной бруснично-разнотравно-зеленомошной микроассоциации сформировались бруснично-разнотравная и брусничная. В местах с наибольшей глубиной прогорания подстилки преобладали бруснично-вейниковая, бруснично-разнотравно-вейниковая, вейниково-кипрейная, разнотравно-вейниковая микрогруппировки, на 7-й год пирогенной сукцессии – бруснично-зеленомошная микрогруппировка, где проективное покрытие допозжарных мхов составляло 10 %, на 12-й год исследований на большей части участка доминировала допозжарная бруснично-разнотравно-зеленомошная микрогруппировка.

На пп 2 при пожаре средней интенсивности глубина прогорания лесной подстилки составила от 1.4–6.9 см. На 3-й год после пожара в напочвенном покрове доминировала бруснич-

ная микрогруппировка, где проективное покрытие *Vaccinium vitis-idaea* L. составляло 10 %. На 7-й год сукцессии появляются микроассоциации с доминированием *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth и *Lycopodium complanatum* L. На 9-й год на пирогенно-минерализованных участках, образовавшихся на месте погибшего лишайникового покрова, появляются пионерные мхи (*Polytrichum commune* Hedw., *P. strictum* Menzies ex Brid.). На 13-й год в напочвенном покрове доминирует брусничная микрогруппировка. Снижается участие политриховых мхов, на месте которых появляются пионерные лишайники рода *Cladonia*.

Глубина прогорания лесной подстилки при высокоинтенсивном пожаре на пп 3 составила 3.0–7.7 см. На 3-й год пирогенной сукцессии в напочвенном покрове преобладали брусничная, бруснично-вейниковая и кустарничковая микрогруппировки. На 7–9-й год пирогенной сукцессии структура напочвенного покрова приобрела мелкоконтурные очертания. Сформировались микроассоциации с доминированием *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth, *Epilobium angustifolium* L., *Maianthemum bifolium* (L.) F. W. Schmidt, *Lycopodium complanatum* L., а также мхов рода *Polytrichum*. На 13-й год в напочвенном покрове преобладали микрогруппировки с участием политриховых мхов: бруснично-политриховая, политриховая, бруснично-плауново-политриховая, а также появляются микроассоциации с участием лишайников – лишайниково-политриховая, бруснично-лишайниковая и лишайниковая.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В южно-таежных сосняках экспериментальные пожары в зависимости от их интенсивности привели к снижению видового богатства, видового разнообразия (индекс Шеннона), проективного покрытия и надземной фитомассы травяно-кустарничкового яруса. Низкоинтенсивные пожары привели к снижению проективного покрытия и фитомассы мохово-лишайникового покрова, при пожарах средней и высокой интенсивности мохово-лишайниковый покров погибает.

На 12, 13-й год после пожара травяно-кустарничковый ярус на 60–75 % был представлен видами допозжарного сообщества. Проективное покрытие доминанта *Vaccinium vitis-idaea* L. составило 66–84 % от допозжарного значения, фитомасса – 55 % от допозжарного значения при низкой интенсивности пожара, 43 % при средней и 68 % при высокой.

Через 12, 13 лет после пожаров проективное покрытие мохово-лишайникового покрова составляло 15–26 % от допожарного значения, где преобладали лишайники с бокальчатыми и шиловидными формами слоевищ – *Cladonia botrytis* (K. G. Hagen) Willd., *Cl. cenotea* (Ach.) Schaer., *Cl. cornuta* (L.) Hoffm., *Cl. deformis* (L.) Hoffm., *Cl. gracilis* (L.) Wild. Проективное покрытие допожарных мхов (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., *Dicranum polysetum* Sw.) не превышало 20.5 % после низкоинтенсивного, 5.5 % после среднеинтенсивного, 3.3 % после высокоинтенсивного пожаров.

Через 12 лет после низкоинтенсивного пожара в структуре живого напочвенного покрова преобладали допожарные микрогруппировки (бруснично-разнотравно-зеленомошная и бруснично-зеленомошная). На 13-й год после среднеинтенсивного пожара в границах допожарной бруснично-лишайниково-зеленомошной микрогруппировки сформировалась брусничная. Высокоинтенсивный пожар привел к увеличению числа растительных микроассоциаций. В живом напочвенном покрове преобладали микрогруппировки с доминированием пионерных мхов и лишайников, а также травянистых видов – лишайниково-политриховая, бруснично-политриховая, разнотравно-политриховая, политриховая, майниковая, бруснично-плауново-политриховая, бруснично-лишайниковая, лишайниковая.

Работа выполнена в рамках государственного задания Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН – обособленного подразделения ФИЦ КНЦ СО РАН, № FWES-2021-0010, Рег. НИОКТР № 121030900181-4.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Воздействие пожаров на светлохвойные леса Нижнего Приангарья / Г. А. Иванова, Е. А. Кукавская, И. Н. Безкоровайная и др. Новосибирск: Наука, 2022. 204 с.

Любимова Е. Л. Растительный покров // Средняя Сибирь. М.: Изд-во Наука, 1964. С. 226–276.

Список лишенофлоры России: Справочн. изд. / сост. Г. П. Урбанавичюс. СПб.: Наука, 2010. 194 с.

Шмидт В. М. Математические методы в ботанике: Учеб. пособие. Л.: Изд-во ЛГУ, 1984. 288 с.

Шумилова Л. В. Ботаническая география Сибири: Учеб. пособие. Томск: Изд-во Том. ун-та, 1962. 439 с.

Brais S., Camiré C., Bergeron Y., Paré D. Changes in nutrient availability and forest floor characteristics in relation to stand age and forest composition in the southern part of the boreal forest of northwestern Quebec // For. Ecol. Manag. 1995. V. 76. Iss. 1–3. P. 181–189.

Certini G. Effects of fire on properties of forest soils: a review // Oecologia. 2005. V. 143. N. 1. P. 1–10.

Franklin J. F., Spies T. A., Pelt R. V., Carey A. B., Thornburgh D. A., Berg D. R., Lindemayer D. B., Harmon M. E., Keeton W. S., Shaw D. C., Bible K., Chen J. Disturbances and structural development of natural forest ecosystems with silvicultural implications, using Douglas-fir forests as an example // For. Ecol. Manag. 2002. V. 155. Iss. 1–3. P. 399–423.

Gorshkov V. V., Bakkal I. J. Species richness and structure variations of Scots pine forest communities during the period from 5 to 210 years after fire // Silva Fenn. 1996. V. 30. N. 2–3. P. 329–340.

Grandpré L., Gagnon D., Bergeron Y. Changes in the understory of Canadian southern boreal forest after fire // J. Veg. Sci. 1993. V. 4. N. 6. P. 803–810.

Hart S. A., Chen H. Y. Fire, logging, and overstory affect understory abundance, diversity, and composition in boreal forest // Ecol. Monogr. 2008. V. 78. N. 1. P. 123–140.

Jean M., Alexander H. D., Mack M. C., Johnstone J. F. Patterns of bryophyte succession in a 160-year chronosequence in deciduous and coniferous forests of boreal Alaska // Can. J. For. Res. 2017. V. 47. N. 8. P. 1021–1032.

Jean M., Lafleur B., Fenton N. J., Paré D., Bergeron Y. Influence of fire and harvest severity on understory plant communities // For. Ecol. Manag. 2019. V. 436. P. 88–104.

Köster K., Köster E., Orumaa A., Parro K., Jögiste K., Berninger F., Pumpanen J., Metslaid M. How time since forest fire affects stand structure, soil physical-chemical properties and soil CO<sub>2</sub> efflux in hemiboreal Scots pine forest fire chronosequence? // Forests. 2016. V. 7. Iss. 9. Article: 7090201. 12 p.

Kuuluvainen T., Mäki J., Karjalainen L., Lehtonen H. Tree age distributions in old-growth forest sites in Vienansalo wilderness, eastern Fennoscandia // Silva Fenn. 2002. V. 36. N. 1. P. 169–184.

Liu B., Yang J., Johnstone J. F. Understory vascular plant community assembly in relation to time-since-fire and environmental variables in a Chinese boreal forest // J. Mt. Sci. 2017. V. 14. Iss. 7. P. 1317–1328.

Liu B., Biswas S. R., Yang J., Liu Z., He H. S., Liang Y., Lau M. K., Fang Y., Han S. Strong influences of stand age and topography on post-fire understory recovery in a Chinese boreal forest // For. Ecol. Manag. 2020. V. 473. Article: 118307.

Marozas V., Racinskas J., Bartkevicius E. Dynamics of ground vegetation after surface fires in hemiboreal Pinus sylvestris forests // For. Ecol. Manag. 2007. V. 250. Iss. 1–2. P. 47–55.

McRae D. J., Conard S. G., Ivanova G. A., Sukhinin A. I., Baker S. P., Samsonov Y. N., Blake T. W., Ivanov V. A., Ivanov A. V., Churkina T. V., Hao W. M., Koutzenogij K. P., Kovaleva N. M. Variability of fire behavior, fire effects, and emissions in Scotch pine forests of Central Siberia // Mitig. Adapt. Strateg. Glob. Chang. 2006. V. 11. Iss. 1. P. 45–74.

Paquette M., Boudreault C., Fenton N., Pothier D., Bergeron Y. Bryophyte species assemblages in fire and clear-cut origin boreal forests // For. Ecol. Manag. 2016. V. 359. P. 99–108.

Paré D., Bergeron Y. Effect of colonizing tree species on soil nutrient availability in a clay soil of the boreal mixed-wood // Can. J. For. Res. 1996. V. 26. N. 6. P. 1022–1031.

- Parro K., Köster K., Jögiste K., Vodde F. Vegetation dynamics in a fire damaged forest area: The response of major ground vegetation species // *Balt. For.* 2009. V. 15. N. 2. P. 206–215.
- Ruokolainen L., Salo K. The effect of fire intensity on vegetation succession on a sub-xeric heath during ten years after wildfire // *Ann. Bot. Fenn.* 2009. V. 46. N. 1. P. 30–42.
- Schimmel J., Granstrom A. Fire severity and vegetation response in the boreal Swedish forest // *Ecology*. 1996. V. 77. N. 5. P. 1436–1450.
- Simard D. G., Fyles J. W., Paré D., Nguyen T. Impacts of clearcut harvesting and wildfire on soil nutrient status in the Quebec boreal forest // *Can. J. Soil Sci.* 2001. V. 81. N. 2. P. 229–237.
- The Plant List (TPL) 2011–2020. <http://www.theplantlist.org>
- Úbeda X., Sarricolea P. Wildfires in Chile: a review // *Glob. Planet Change*. 2016. V. 146. P. 152–161.
- Wang G. G., Kembell K. J. Effects of fire severity on early development of understory vegetation // *Can. J. For. Res.* 2005. V. 35. N. 2. P. 254–262.

## THE IMPACT OF SURFACE FIRES ON GROUND COVER IN PINE FORESTS OF SOUTHERN TAIGA

N. M. Kovaleva, G. A. Ivanova, S. V. Zhila

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: nk-75@mail.ru, gaivanova@ksc.krasn.ru, getgain@mail.ru

The patterns of restoration of the ground vegetation after experimental fires of different intensity (924–4275 kW/m) in the southern taiga pine forests of the Nizhnee Priangar'e region are considered. Forest fires, depending on their intensity, lead to a decrease in species diversity (Shannon index), species richness, projective cover and ground biomass of grasses and shrubs. On the 12<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup> years of the pyrogenic succession, the species richness of the grasses and shrubs was 60–75 % represented by species of the pre-fire community. The percent cover of the dominant ground layer *Vaccinium vitis-idaea* L. was 66–84 % of the pre-fire value. The aboveground biomass of the grasses and shrubs was 43–68 % of the pre fire value. Fires of medium and high intensity led to the death of the moss-lichen layer. After a fire of low intensity, the mosses were preserved in the areas not covered by fire. In the 12<sup>th</sup> and 13<sup>th</sup> years after the fires, the percent cover of the moss-lichen layer was 15–26 % of the pre-fire value. Pre-fire mosses as *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt. and *Dicranum polysetum* Sw. are restored in the ground cover, and pioneer lichens of the *Cladonia* genus as: *Cladonia botrytis* (K. G. Hagen) Willd., *Cl. cenotea* (Ach.) Schaer., *Cl. cornuta* (L.) Hoffm., *Cl. deformis* (L.) Hoffm., *Cl. gracilis* (L.) Willd appear. Ground fires led to a change in the structure of pre-fire plant microgroups. In the 12<sup>th</sup> year after the low-intensity fire, pre-fire microgroups of *Vaccinium vitis-idaea*-herbs-green moss and *Vaccinium vitis-idaea*-green moss prevailed. In the 13<sup>th</sup> year after a medium-intensity fire, within the boundaries of the pre-fire microgroup of *Vaccinium vitis-idaea*-lichen-green moss a monodominant microgroup of *Vaccinium vitis-idaea* was formed. The high-intensity fire led to an increase in the number of plant microgroups. In the ground layer were dominated by plant microassociations as – *Cladonia-Polytrichum*, *Vaccinium vitis-idaea-Polytrichum*, herbs-*Polytrichum*, *Polytrichum*, *Maianthemum bifolium*, *Vaccinium vitis-idaea-Lycopodium-Polytrichum*, *Vaccinium vitis-idaea-Cladonia*, *Cladonia*.

**Keywords:** pine stands, fire succession, experimental burning, ground vegetation, species diversity, ground phytomass, plant microgroup, Nizhnee Priangar'e, Krasnoyarsk Krai.

**How to cite:** Kovaleva N. M., Ivanova G. A., Zhila S. V. The impact of surface fires on ground cover in pine forests of southern taiga // *Sibirskij Lesnoj Zhurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 98–107 (in Russian with English abstract and references).

УДК 630\*181.43:581.824.2

## ФЛОЭМО- И КСИЛОГЕНЕЗ В СТВОЛАХ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ПОСТПИРОГЕННЫЙ ПЕРИОД

Г. Ф. Антонова, В. В. Стасова, А. С. Морозов, С. В. Жила, О. Н. Зубарева

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

E-mail: antonova\_cell@mail.ru, vistasova@mail.ru, MorozovAS@firescience.ru,  
getgain@mail.ru, zon@ksc.krasn.ru

Поступила в редакцию 12.07.2023 г.

Изучено влияние природного низового пожара разной интенсивности на ростовые процессы в стволах взрослых деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), растущих в естественном насаждении Красноярской островной лесостепи. Первичной реакцией является уменьшение числа клеток в зонах, отвечающих за формирование и развитие клеток флоэмы и ксилемы – камбия, роста растяжением и вторичного утолщения стенок при поражении ствола огнем. Тепловое воздействие вызывает снижение влажности развивающихся слоев флоэмы и ксилемы, что изменяет условия морфогенеза их клеток и приводит к сокращению числа клеток, произведенных камбием, во флоэме и в слое ранней ксилемы. В постпирогенный период изменяется структура проводящих путей (ширина лучей и их содержание), отвечающих за приток фотоассимилятов к развивающимся тканям. Ширина лучей во флоэме и ксилеме увеличивается. Содержание лучей в ксилеме тоже увеличивается с повышением степени поражения. Во флоэме содержание лучей повышается при средней степени поражения ствола и снижается при усилении степени повреждения. Одновременно во флоэме увеличивается содержание аксиальной паренхимы. В лучевой и аксиальной паренхиме луба в зависимости от степени поражения стволов пожаром меняется содержание крахмала, который служит запасным пулом углеводов для ростовых процессов. В конце ростового сезона число клеток в сформированном слое проводящей флоэмы уменьшается с повышением степени повреждения ствола огнем. Объем лучевой системы (ширина лучей и их содержание), напротив, значительно увеличивается при усилении воздействия пожара. В ксилеме как следствие пожара образуется меньше ранних и поздних трахеид, сокращаются их размеры, снижается количество биомассы, накопленной в клеточных стенках. В октябре после окончания ростовых процессов крахмал в паренхиме луба отсутствует.

**Ключевые слова:** *Pinus sylvestris* L., низовой пожар, ксилема, флоэма, структура, клетки.

DOI: 10.15372/SJFS20230611

### ВВЕДЕНИЕ

Одним из абиотических факторов, влияющих на древесные растения, являются пожары. Их воздействие как фактор нагревания живых тканей растения может инициировать каскад изменений физиологических и биохимических процессов в дереве, что в свою очередь, приводит к его ослаблению, снижению продуктивности и возможности атак вредителями и патогенами. Воздействие пожаров на лесные сообщества, изменение качественных и количественных характеристик древесины поврежденных деревьев, микроструктуры дерева и внутренних

процессов в нем после пожара постоянно изучаются (Мелехов, 1948; Судачкова, 1977; Савченко, 1984; Цветков, 1994; Абаимов и др., 2004; Dickinson, Johnson, 2004; Косов, 2006; Масыгина и др., 2007; Платонов и др., 2011; Косиченко и др., 2012; Снегирева, Буракова, 2013; Arbellay et al., 2014; Иванова, Иванов, 2015; Судачкова и др., 2015, 2016, 2017; Schafer et al., 2015; Платонов и др., 2016; Smith et al., 2016; Sudachkova et al., 2016; Иванова и др., 2018; Kirdeyanov et al., 2020; Knoege et al., 2022).

Нагрев поверхности ствола высокой температурой при пожаре приводит к изменениям в микроструктуре древесины. Еще И. С. Мелехов

(1948) сообщал, что после пожара изменяется соотношение ранней и поздней древесины, диаметр трахеид, толщина стенок, размещение смоляных ходов. Уменьшение почти в 2 раза радиального прироста, толщины оболочек ранних и поздних трахеид, содержания поздней древесины отмечали в сосне крымской (Савченко, 1984). В молодых деревьях сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) после контролируемого выжигания, имитирующего низовой пожар средней силы, снижались число и размер ранних и поздних трахеид и ширина кольца древесины (Судачкова и др., 2016; Sudachkova et al., 2016). Уменьшение числа трахеид и увеличение плотности лучей в первый год после пожара отмечали в трех видах хвойных – псевдотсуги Мензиса (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco), лиственницы западной (*Larix occidentalis* Nutt.) и сосны желтой (*Pinus ponderosa* P. Lawson & C. Lawson) в Северной Америке (Arbellay et al., 2014). Повреждение микроструктуры древесины сосны, смоляных ходов и увеличение элементов во флоэме, изменение перфорации в окаймленных порах, появление травматических смоляных ходов наблюдали через месяц после пожара, прошедшего в конце сезона (Косиченко и др., 2012). В деревьях сосны желтой изменяется структура смоляных ходов (Petrakis, Agee, 2006). Термогидролитическая деструкция компонентов древесины сопровождается физико-механическими и химическими изменениями свойств древесины (Платонов и др., 2016).

Структурные изменения в лубе (содержании клеток флоэмы, осевой паренхимы, частоты лучей) сосны обыкновенной при контролируемом выжигании отмечали через 8 лет после пожара низкой интенсивности и через 13 лет после средне- и высокоинтенсивного пожара (Стасова и др., 2015, 2020). В 55-летних деревьях дуба пушистого (*Quercus pubescens* Willd) в Словакии на следующий год после пожара нашли изменения в размерах проводящих элементов флоэмы и преждевременное образование тиллов в сосудах ранней древесины, что может влиять на гидравлическую целостность ксилемы (Gričar et al., 2020). В субальпийских видах деревьев в Патагонии после пожара уменьшался диаметр люменов и снижалось количество сосудов (Mundo et al., 2019). Изучение физиологических ответов с использованием изотопов углерода и кислорода показало снижение роста и относительной проводимости в стволах деревьев сосны алеппской (*Pinus halepensis* Mill.) после пожара (Battipaglia et al., 2014).

Некроз камбия, повреждение во флоэме и ксилеме являются основными факторами, которые вызывают снижение ростовой активности и уменьшение водного потенциала после пожара (Bär et al., 2018, 2019). На основе измерений гидравлической проводимости в ели обыкновенной (*Picea abies* (L.) H. Karst.), сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и букке европейской (*Fagus sylvatica* L.) сделано предположение, что огонь может инициировать каскад сложных механизмов, влияющих на физиологию деревьев после пожаров, в частности на их гидравлическую систему и появление эмболии, подобно засухе. Низкий водный потенциал, возникающий при засухе (снижение доступности влаги, высокая температура) и вызывающий эмболию, нарушает непрерывность гидравлических связей в дереве (Landsberg, Richard, 2017). Эксперименты с тополем бальзамическим (*Populus balsamifera* L.) показали, что возникновение кавитации в результате нагревания может быть вызвано деформацией не поровых мембран, а структурных компонентов клеточных стенок ксилемы (Michaletz et al., 2012). Нагревание ксилемы увеличивает уязвимость сосны длиннохвойной (*Pinus palustris* Mill.) к гидравлической проводимости и может спровоцировать гибель деревьев (Lodge et al., 2018). Для определения послепожарной смертности или выживания в деревьях киггеларии африканской (*Kiggelaria africana* L.) и эвкалипта ветвешечкового (*Eucalyptus cladocalyx* F. Muell.) проверялись гидравлические характеристики стволов (West et al., 2016). Согласно другим исследованиям, доказательств деформации ксилемы нет, и гибель саженцев сосны желтой зависит в основном от разрушения флоэмы, но не из-за гидравлических характеристик ксилемы (Feltrin-Partelli et al., 2020, 2022). На побегах секвойи вечнозеленой (*Sequoia sempervirens* (D. Don) Endl.) при моделировании условий слабого пожара было показано, что жизнеспособность камбия имеет большее значение, чем функция ксилемы (Salladay, Pittermann, 2023). Авторы рекомендуют наземную проверку камбиальной и ксилемной реакции после пожара.

Изучение ранних физиологических последствий пожара, вызванного искусственно, вносит дополнительные данные в понимание теплового воздействия на древесные растения. Так, отмечено изменение дыхания (Масягина и др., 2007). Значительное увеличение неструктурных белков и аскорбиновой кислоты в хвое, сни-

жение растворимых сахаров и неструктурных белков во флоэме и усиление флоэмного транспорта наблюдали у 4 молодых деревьев сосны калабрийской (*Pinus brutia* Ten.) (Alexou et al., 2014). После искусственного низового пожара отмечали снижение содержания хлорофиллов в хвое, содержания низкомолекулярных углеводов и ослабление активности большинства элементов антиоксидантной системы в прикамбиальной зоне деревьев сосны обыкновенной первого класса возраста (Судачкова и др., 2015, 2016, 2017; Sudachkova et al., 2016). Все эти данные указывают на сложность механизмов воздействия теплового шока на жизнедеятельность древесных растений после пожара.

Возникновение пожара обычно связано с засушливыми условиями, которые являются следствием недостатка влаги и повышенной температуры. Повышенная температура по сравнению со средней на 3.6 °С, значительное снижение (на 32 % от нормы) осадков 7 мая 2022 г. спровоцировали низовой пожар на территории экспериментального хозяйства «Погорельский бор» Красноярской лесостепи, интенсивность на кромке которого варьировала от низкой до высокой. Температура под корой и в зоне живых тканей ствола может быть значительной (Иванова, Иванов, 2015) и приводить к существенным изменениям в морфогенезе клеток дерева.

Целью исследования была оценка изменений в структуре флоэмы и ксилемы сосны обыкновенной после пожара. В задачи исследования на первом этапе входило изучение анатомо-морфологического состояния клеток флоэмы и ксилемы в стволах сосны обыкновенной после теплового воздействия.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили на территории экспериментального хозяйства «Погорельский бор» после пожара, прошедшего в начале мая 2022 г. Пожар характеризовался как низовой, устойчивый, приведший к равномерному нагару по окружности дерева. Комплексный показатель Нестерова на момент пожара (07.05.2022) составил 3274 ед. Данные по погодным условиям сезона 2022 г. в сравнении с нормой среднестатистических данных (Погода..., 2022) представлены в табл. 1. Наблюдения за состоянием развития ксилемы и флоэмы в стволах сосны обыкновенной проводили через 2 мес (12 июля) после пожара, т. е. в середине вегетационного

**Таблица 1.** Среднемесячные показатели температуры и осадков в 2022 г.

Показатель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь
Температура, °С	14.0	16.8	17.6	14.9	9.5
	3.6	16.9	19.1	16.1	9.1
Осадки, мм	15	66	52	77	66
	48	63	70	76	55

*Примечание.* В числителе – среднемесячные показатели температуры и суммы осадков; в знаменателе – их норма для региона.

периода, и в октябре, когда ростовые процессы в дереве завершаются.

В начале июля развитие годичного слоя в стволах находится на стадии образования камбием поздних трахеид и формирования вторичных стенок ранних трахеид, в октябре – завершается дифференциация трахеид поздней древесины и формирование годичного прироста (Antonova, Stasova, 1993, 2015).

Объектами исследования были деревья сосны обыкновенной в насаждении, которое относится к спелым сосновым насаждениям разновозрастно-зеленомошного типа леса Красноярской островной лесостепи. Полнота древостоя – 0.8–1.6, возраст – 120 лет. Диаметр стволов деревьев – 31–34 см, средняя высота – 26–27 м.

В насаждении, пораженном пожаром, были выбраны 2 площадки (участка) со средней (высота нагара 2–3 м) и сильной (высота нагара 4–6 м) степенью поражения огнем стволов деревьев по окружности. Нагар относится к важным диагностическим признакам поражения деревьев пожаром и степени его воздействия на дерево (Амосов, 1964; Цветков 1994). В качестве контроля использовали деревья из неповрежденного пожаром насаждения, расположенного вблизи от насаждения, пораженного огнем. Образцы для анализа собирали 8 июля и 4 октября 2022 г. На каждой из площадок, в том числе контрольной, были выбраны по 3 дерева.

Анатомо-морфологический анализ состояния развития годичного слоя проводили на высечках, которые отбирали из стволов (в южном направлении) специальным долотом на высоте 1.3 м после удаления коры. Высечки из каждого дерева сразу помещали в отдельные боксы со смесью (этанол-глицерин 1 : 1). Рядом с местом высечек вырезали полосы 3 × 8 см, содержащие зрелый луб и формирующуюся ксилему, и помещали их в плотно закрытые сосуды. В лаборатории со стороны луба и со стороны ксилемы скальпелем собирали клетки флоэмы и формирующейся ксилемы для определения влажности



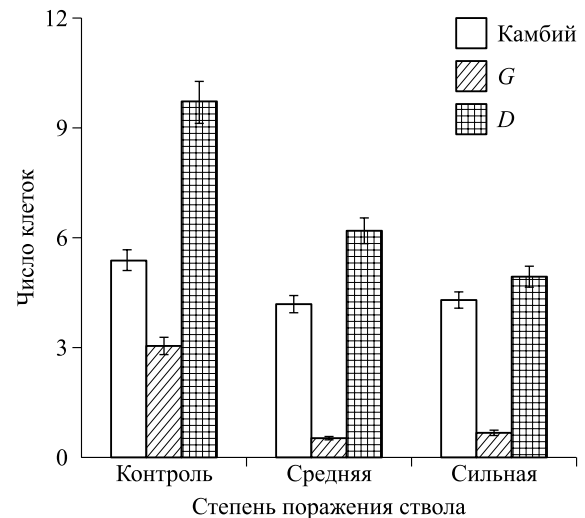
и последующего химического анализа. Влажность определяли весовым методом. Образцы собранных тканей фиксировали 50 мл 80 % водного этанола. Чтобы избежать внесения инфекции, места отбора высечек и полос покрывали садовым варом.

Два поперечных среза каждой высечки окрашивали 0.05%-м водным раствором крезил-виолета (Антонова, Шебеко, 1981). На 5 рядах клеток каждой высечки определяли количество клеток в зонах камбия, роста растяжением и вторичного утолщения, число трахеид, размеры клеток в радиальном и тангентальном направлении, количество и ширину лучей во флоэме, содержание крахмала в лучевой и тяжелой паренхиме луба текущего годичного слоя. Измерения проводили с использованием светового микроскопа МБИ-15 и окуляр-микрометра. Внешние размеры клеток и их люменов измеряли при увеличении 900. Число лучей во флоэме на поперечном срезе определяли как число лучей на 1 мм линейки, расположенной перпендикулярно лучам (Яценко-Хмелевский, 1954). Их содержание определяли в процентах от площади поперечного среза измеряемого годичного слоя. Содержание аксиальной паренхимы во флоэме определяли в прилежащих к камбию годичных приростах флоэмы методом линий, рекомендованным для определения объема слагающих древесину тканей (Яценко-Хмелевский, 1954, с. 119–124). Содержание крахмала и его распределение в лучах и аксиальной паренхиме определяли в баллах с иодидом калия. Статистическую обработку проводили по программам Microsoft Excel и Statistica 10.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

**Первичные реакции на воздействие пожара.** В стволах деревьев, контрольных и подвергшихся действию огня, через 2 мес после пожара (к 12 июля) фиксировали ростовую активность клеток в зонах камбия, роста растяжением и утолщения вторичной клеточной стенки. Состав клеток в зонах дифференциации показан на рис. 1.

Достаточное количество осадков и умеренная температура в мае-июне (табл. 1) способствовали продукции камбием слоя ранних трахеид и развитию их радиальных диаметров. Зона камбия и особенно зона роста растяжением (*G*) в стволах пораженных деревьев к 12 июля содержала клеток меньше, чем соответствующие зоны в стволах контрольных деревьев ( $p < 0.05$ ). Клетки ранней древесины, произведенные кам-



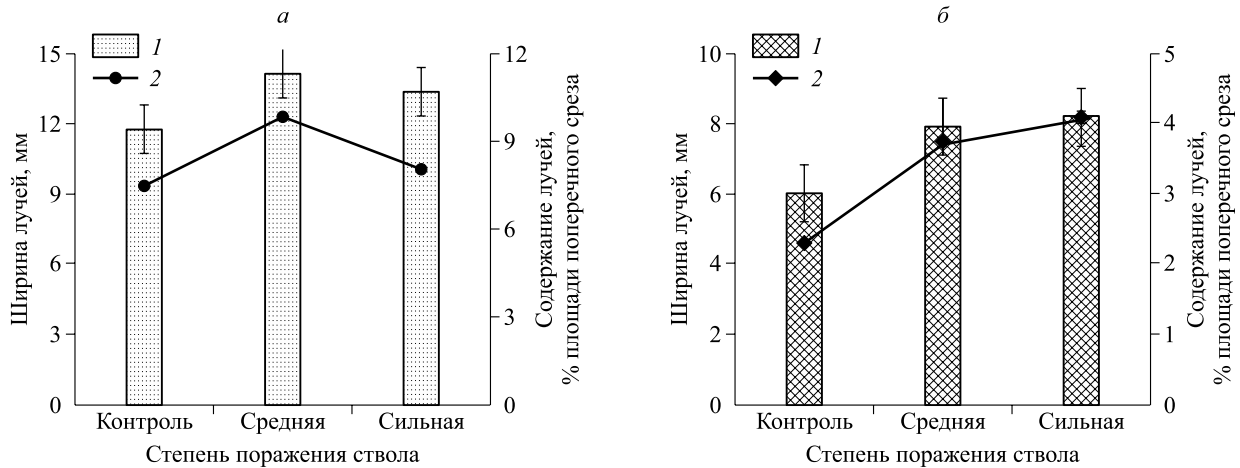
**Рис. 1.** Число клеток в зонах камбия, роста растяжением (*G*) и утолщения вторичной стенки (*D*) формирующегося слоя ксилемы в зависимости от степени повреждения ствола.

бием и прошедшие развитие в радиальном направлении за 2 мес после пожара, перешли в зону вторичного утолщения стенок. Число этих ранних трахеид значительно меньше в стволах деревьев, пораженных пожаром по сравнению с контрольными деревьями (рис. 1). В это время камбий начинает продуцировать клетки поздней древесины. Такое состояние развития годичного слоя в стволах хвойных деревьев в начале июля характерно для Средней Сибири (Antonova, Stasova, 1993, 1997). Признаком начала формирования камбием поздних трахеид послужило появление клеток осевой паренхимы текущего года. Появление аксиальной (осевой) паренхимы в слое формирующейся флоэмы по наблюдениям В. В. Стасовой (неопубликованные данные) всегда совпадает во времени с началом производства камбием клеток поздней ксилемы.

В сформированном слое ранней ксилемы смоляных ходов мало, травматических смоляных ходов не наблюдалось. Проводящая флоэма как основной транспортный путь фотоассимилятов содержала ситовидные клетки, образовавшиеся в текущем году, а также позднюю флоэму прошлого года.

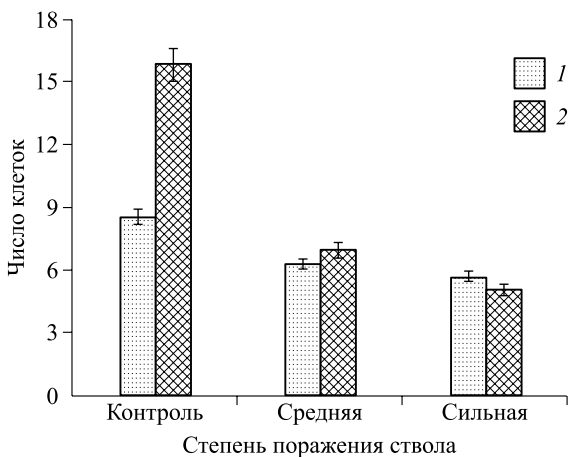
Анатомо-морфологический анализ структуры развивающихся тканей показал изменение содержания лучей и их ширины во флоэме и ксилеме (рис. 2).

Тепловое воздействие на стол дерева приводит к увеличению ширины лучей во флоэме и ксилеме по отношению к контролю ( $p < 0.10$ ). Однако их содержание, относительно повышаясь при средней степени поражения ствола огнем,



**Рис. 2.** Ширина лучей (1) и их содержание (2) в формирующихся слоях флоэмы (а) и ксилемы (б) в стволах деревьев сосны обыкновенной через 2 мес после пожара.

снижается при усилении степени воздействия пожара во флоэме (рис. 2, а), но увеличивается по отношению к контролю в ксилеме ( $p < 0.05$ ) (рис. 2, б). Содержание аксиальной паренхимы увеличивается после пожара по отношению к контролю на 35 %. Данные соответствуют наблюдениям нарушения гидравлической (проводящей) системы ксилемы при тепловом поражении (Lodge et al., 2018). В систему включены лучевая и аксиальная паренхима луба ствола, создающая вместе с клетками ранней ксилемы непрерывную транспортную сеть в тканях дерева и обеспечивающая процессы роста водой и ассимилятами (Эзау, 1980; Лотова, 1987). Перенос фотосинтетатов по транспортной системе регулируют водный стресс и температура (Gamalei et al., 1996; Гамалей, 2004). Изменение водного континуума вследствие низкого водного потенциала, например при засухе, может вызвать гибель дерева (Landsberg, Richard, 2017).

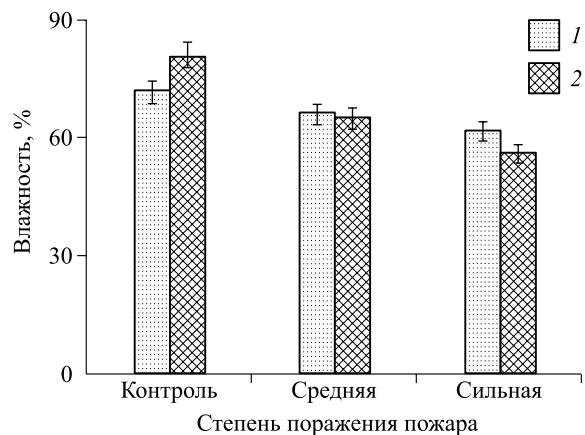


**Рис. 3.** Число клеток флоэмы (1) и трахеид в слое ранней ксилемы, сформированной после пожара (2).

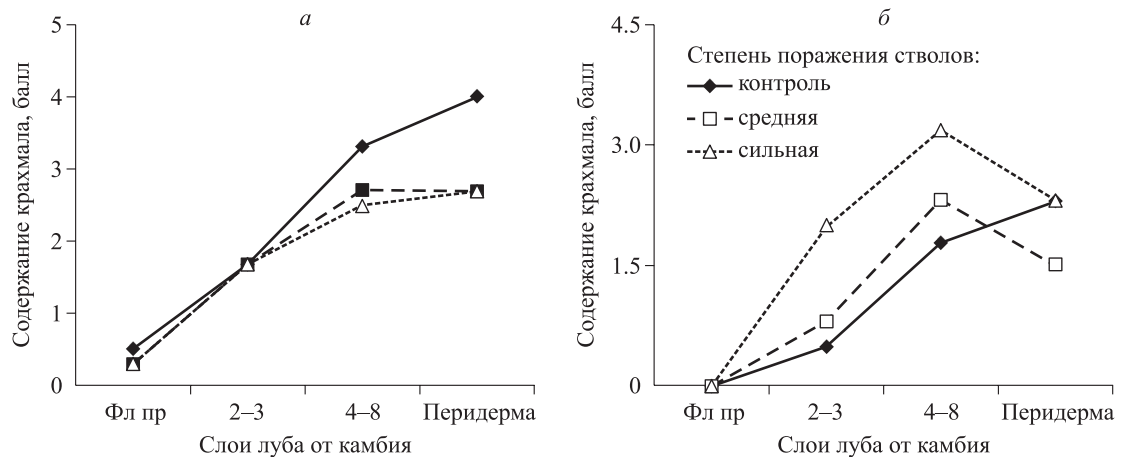
Нарушение обеспеченности тканей водой и фотоассимилятами вызывает изменения в ростовых процессах. Пожар отрицательно повлиял на количество клеток, развивающихся флоэмы и ксилемы (рис. 3).

С усилением степени поражения ствола огнем число клеток проводящей флоэмы, как и число трахеид ранней ксилемы, продуцированных камбием до начала июля, снизилось ( $p < 0.05$ ). Особенно это отразилось на производстве камбием клеток ксилемы после сильной степени поражения ствола.

Причиной этого могло быть уменьшение влажности тканей, влияющих на рост и дифференциацию клеток формирующихся слоев ксилемы и флоэмы. Данные по содержанию влаги в слоях проводящей флоэмы и слое формирующейся ксилемы через 2 мес после пожара показывают снижение влажности тканей с усилением степени поражения ствола (рис. 4).



**Рис. 4.** Влажность флоэмы (1) и ксилемы (2) в стволах сосны после поражения стволов пожаром.



**Рис. 5.** Содержание крахмала в лучах (а) и аксиальной паренхиме (б) луба от проводящей флоэмы (фл пр) до перидермы в стволах сосны обыкновенной в зависимости от степени поражения стволов пожаром.

Влажность флоэмы в контроле ниже влажности формирующейся ксилемы ( $p < 0.05$ ), тогда как влажность флоэмы в стволах, пораженных пожаром, выше, чем в ксилеме формирующегося годичного прироста, особенно при сильной степени поражения ( $p < 0.10$ ). Изменения в радиальной проводящей системе ствола (увеличение ширины лучей и их содержания), отмеченные выше, указывают на стремление дерева сбалансировать нарушенную систему проводимости. Так, ширина лучей и их содержание в ксилеме увеличивается с тепловым воздействием (см. рис. 2, б). В то же время, содержание лучей во флоэме при усилении степени поражения ствола сокращается (рис. 5, а).

Уменьшение влагообеспеченности и сокращение общего объема лучей во флоэме, вероятно, привели к снижению количества фотоассимилятов, поступающих к камбиальной зоне. Это инициировало уменьшение числа клеток ксилемы, продуцированных камбием, по сравнению с контролем, особенно с увеличением степени воздействия огня на ствол (см. рис. 3). Нарушение гидравлических связей в дереве и уменьшение водного потенциала после пожара наблюдали ранее (Landsberg, Richard, 2017; Bär et al., 2019).

Важным фактором для поддержания развития клеток растущего слоя ксилемы в случае недостатка фотосинтетатов является содержание крахмала в клетках лучевой и аксиальной паренхимы. Динамика крахмала всегда привлекает внимание исследователей процессов роста как потенциальный источник углеводов при стрессовом воздействии внешних факторов. На рис. 5 приведены данные по содержанию гранул

крахмала в лучах (а) и аксиальной паренхиме (б) луба от камбия до перидермы.

Данные показывают, что после теплового воздействия отложение крахмала в лучевой паренхиме луба увеличивается до 4–8-го слоя и далее стабилизируется (рис. 5, а). В аксиальной паренхиме (рис. 5, б), напротив, его накопление начинается уже во 2–3-м слоях при средней и особенно усиливается в стволах деревьев при сильной степени поражения их огнем за счет углеводов, поступающих в результате фотосинтеза и не использованных в ростовых процессах ксилемы. Это согласуется с наблюдениями по изменению активности ферментных систем и содержанию неструктурных углеводов (моносахаров, олигосахаров и крахмала) под влиянием нагрева ствола (Судачкова и др., 2015).

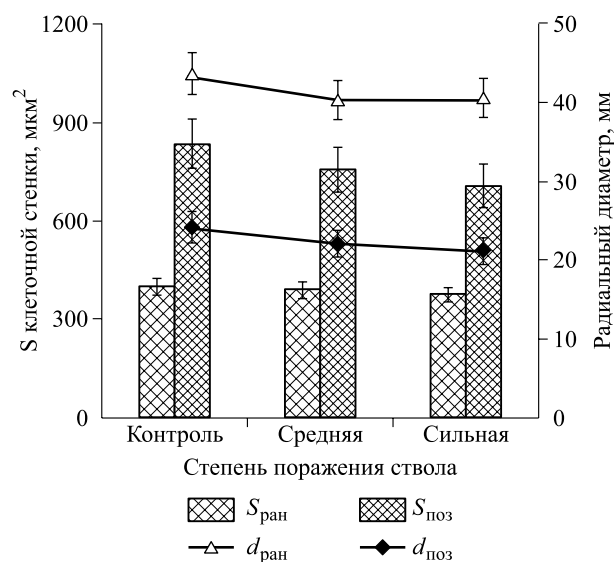
**Характеристики флоэмы и ксилемы в конце вегетационного периода.** Развитие клеток флоэмы и ксилемы в июле–сентябре проходило в благоприятных климатических условиях, близких к среднестатистической норме (табл. 1). Выше отмечено, что к началу июля камбиальные инициалы начали производить в сторону ксилемы клетки поздней ксилемы. В соответствии с распределением во времени процессов, отвечающих за морфогенез трахеид в ростовой период (Antonova, Stasova, 2015), развитие в радиальном направлении поздних трахеид завершается в июле, когда также идет развитие вторичной клеточной стенки ранних трахеид. Оба процесса проходили в достаточно благоприятных погодных условиях. Некоторое уменьшение количества осадков в июле компенсировалось более низкой температурой (табл. 1). Такое сочетание факторов и их показатели благоприятны для ста-

дий дифференциации ранних и поздних трахеид при формировании годичного слоя в стволах сосны обыкновенной (Antonova, Stasova, 1993). К августу, согласно временному распределению процессов в сезоне, заканчивается формирование трахеид ранней ксилемы и начинается отложение веществ во вторичной клеточной стенке поздних трахеид, которое продолжается до конца сентября. Климатические условия этих месяцев тоже были благоприятны для ростовых процессов в стволах контрольных и пораженных деревьев.

В октябре, после полного завершения процессов ксило- и флоэмогенеза, камбиальная зона в стволах содержала 4.7–4.2–3.9 клеток соответственно в контрольных и пораженных деревьях. Некоторое снижение числа клеток в деревьях с поражением ствола, по-видимому, может отразиться на активности клеток камбиальной зоны в следующем вегетационном периоде. В конце сезона, в зависимости от степени поражения дерева, годичные слои ксилемы в стволах содержали в среднем 13.2–8.2–7.4 ранних и 11.5–7.2–7.2 поздних трахеид (ошибки средних в пределах 10 %).

На рис. 6 представлены данные по радиальным диаметрам ранних и поздних трахеид и площади поперечного сечения их клеточных стенок.

Последний показатель принят как характеристика биомассы, накопленной в стенках клеток в ходе процесса вторичного утолщения стенок трахеид.



**Рис. 6.** Характеристики клеток ранней и поздней ксилемы после завершения ростовых процессов.

$d_{ран}$  и  $d_{поз}$  – радиальные диаметры соответственно ранних и поздних трахеид,  $S_{ран}$  и  $S_{поз}$  – площадь поперечного сечения клеточной стенки соответственно ранних и поздних трахеид.

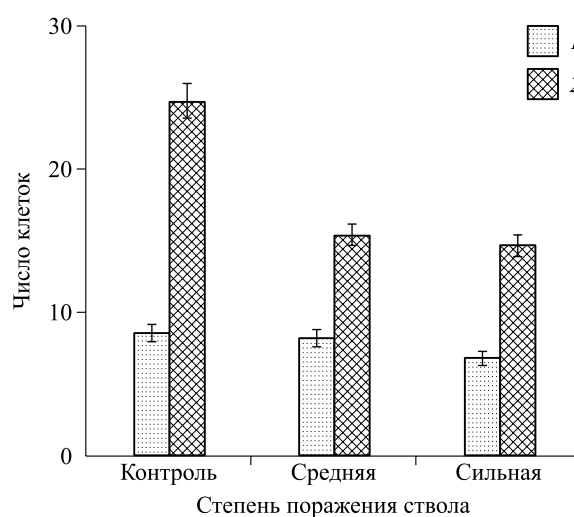
Как показывают данные, радиальный диаметр ранних трахеид в стволах пораженных огнем деревьев уменьшается по сравнению с контролем, но различий в пораженных деревьях по этому показателю не найдено.

Диаметр поздних трахеид показывает слабую тенденцию к уменьшению с усилением степени поражения ствола. По накопленной биомассе клетки ранней ксилемы практически не отличаются по сравнению с контролем и между собой. Возможно, это является следствием повышенного содержания в аксиальной паренхиме крахмала как источника углеводов, особенно при сильной степени поражения стволов деревьев (рис. 5, б). В поздней ксилеме отложение веществ в клеточных стенках трахеид отмечается только тенденция к снижению с усилением поражения ствола.

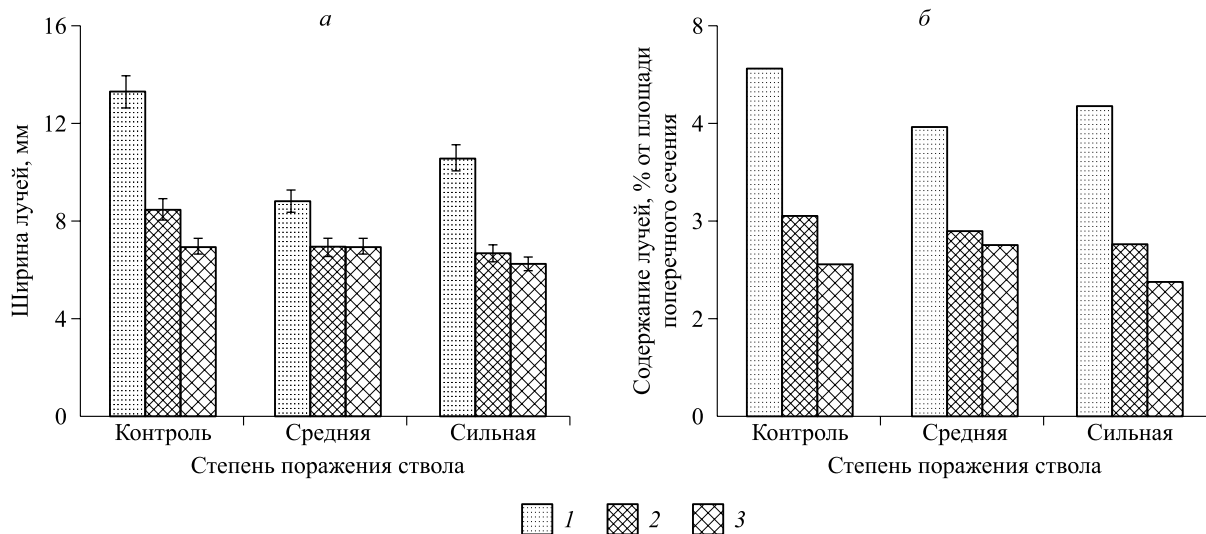
На рис. 7 представлены обобщенные данные по формированию слоя проводящей флоэмы и ксилемы годичного слоя в деревьях с разной степенью поражения ствола огнем.

Общее число клеток в сформированном годичном слое ксилемы снижается в деревьях, пораженных огнем, по отношению к контролю и мало различается между собой.

Вероятно, это можно объяснить относительным уменьшением числа поздних трахеид, произведенных камбием, при средней степени поражения. На это указывает снижение отношения поздних клеток к ранним при среднем и сильном поражении (0.87 и 0.97 соответственно).



**Рис. 7.** Число клеток в годичных слоях проводящей флоэмы (1) и ксилемы (2) в стволах деревьев с разной степенью поражения ствола огнем.



**Рис. 8.** Ширина лучей (а) и их содержание (б) в проводящей флоэме (1) и годовичных слоях ранней (2) и поздней (3) ксилемы, сформированных после пожара.

Слои проводящей флоэмы деревьев контрольной группы и деревьев со средней степенью поражения ствола в конце сезона роста содержали практически равное число клеток. При сильной степени поражении ствола число клеток в слое проводящей флоэмы достоверно ниже по сравнению с другими деревьями ( $p < 0.05$ ).

Изменения в проводящей флоэме лучевой системы под воздействием пожара показаны на рис. 8.

Оба показателя проводящей системы (ширина лучей и их содержание) в поздней ксилеме стволов, пораженных пожаром, после завершения ростовых процессов в октябре меньше относительно контроля (при  $p < 0.05$ ).

При средней степени поражения изменения в ширине лучей в поздней ксилеме компенсируются повышенным содержанием самих лучей в ткани по сравнению с ранней ксилемой ( $p < 0.10$ ).

В слое ранней ксилемы ширина лучей и особенно их содержание меньше не только по сравнению с контролем, но и слоем поздней ксилемы, особенно при сильной степени воздействия пожара.

Во флоэме, напротив, ширина лучей и их содержание оказались значительно больше при сильной степени поражения стволов, чем при более слабом (при  $p < 0.05$ ). Это указывает на значительную репарацию транспортной системы, проводящей фотоассимиляты к зонам развития клеток ксилемы, после сильной степени поражения. Результатом является относительное увеличение числа поздних трахеид в ксилеме, отмеченное выше.

Расчет объема (ширина  $\times$  содержание) сетевой системы образованного после пожара слоя

проводящей флоэмы показывает его уменьшение при средней и значительное увеличение при сильной степени поражения ствола (94.22, 52.1 и 66.3 соответственно). Вероятной причиной (как и повышение числа поздних трахеид) является значительное содержание крахмала в начале июля в аксиальной паренхиме луба после сильной степени поражения стволов (рис. 5, б). Н. Е. Судачкова с соавт. (2016; Sudachkova et al., 2016) указывали на устойчивость к тепловому воздействию некоторых ферментов, в том числе амилазы. Изменения в проводящих элементах флоэмы, и, в частности, увеличение плотности лучей отмечались ранее (Arbellay et al., 2014; Gričar et al., 2020).

В октябре в лучах и аксиальной паренхиме флоэмы всех деревьев крахмала не обнаружено. Его утилизация проходит как приспособительная реакция к изменению внешних факторов в ходе ростовых процессов. Снижение содержания крахмала к началу периода покоя наблюдали при развитии древесных растений (Судачкова, 1977; Sauter, Cleve, 1994; Begum et al., 2010).

В октябре на поверхности стволов в местах, где в начале июля были взяты высечки, слой луба и ксилемы, зафиксировали смоляные подтеки как результат поражения смолоносной системы. Подобное явление наблюдали при изучении микроструктуры ствола сосны после низового пожара (Косиченко и др., 2012).

Данные свидетельствуют о множественных, комплексных изменениях в морфогенезе клеток флоэмы и ксилемы и, соответственно, в структуре сформированных тканей после воздействия высоких температур на ствол сосны.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

После воздействия пожара в стволах сосны обыкновенной происходят изменения в структуре флоэмы и ксилемы. Первичная реакция на тепловое воздействие – уменьшение влажности во флоэме и ксилеме прикамбиальной зоны, т. е. в системе, отвечающей за флоэмо- и ксилогенез. Годичные слои ксилемы, сформированные после пожара, содержат меньше ранних и поздних трахеид. Размеры их уменьшаются после воздействия огня и, как следствие, снижается количество биомассы, накопленной в клеточных стенках. Меняется структура годичных слоев ксилемы и флоэмы. Стрессовые условия активируют адаптационные возможности деревьев, что приводит к изменениям в сетевой (проводящей) системе, обеспечивающей развивающиеся клетки водой и фотоассимилятами. Во флоэме и ксилеме увеличивается ширина лучей. В ксилеме содержание лучей также увеличивается. Содержание лучей во флоэме повышается при средней степени поражения ствола и снижается при усилении поражения при одновременном увеличении содержания аксиальной паренхимы. В зависимости от степени поражения стволов пожаром в лучевой и аксиальной паренхиме луба меняется содержание крахмала. При сильной степени воздействия пожара, не использованные в ростовых процессах фотоассимиляты стимулируют развитие лучевой и аксиальной паренхимы и накопление в ней крахмала как запасного пула углеводов для ростовых процессов. В конце сезона роста лучевая система сформированных слоев флоэмы всех исследованных деревьев крахмала не содержит. Данные указывают на определенную пластичность и комплексность реакции дерева на такое стрессовое воздействие, как пожар.

*Авторы благодарны заведующей лабораторией лесной пирологии ИЛ СО РАН, доктору биологических наук Галине Александровне Ивановой за содействие в проведении исследования.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Абаимов А. П., Прокушкин С. Г., Суховольский В. Г., Овчинникова Т. М. Оценка и прогноз послепожарного состояния лиственницы Гмелина на мерзлотных почвах Средней Сибири // Лесоведение. 2004. № 2. С. 3–11.
- Амосов Г. А. Некоторые закономерности развития лесных низовых пожаров // Возникновение лесных пожаров. М.: Наука, 1964. С. 152–171.
- Антонова Г. Ф., Шебеко В. В. Использование крезилового прочного фиолетового при изучении образования древесины // Химия древесины. 1981. № 4. С. 102–105.
- Гамалей Ю. В. Транспортная система сосудистых растений. Происхождение, структура, функции, развитие, анализ разнообразия типов по таксономическим и эколого-географическим группам растений, эволюция и экологическая специализация транспортной системы. СПб.: Изд-во СПб гос. ун-та, 2004. 422 с.
- Иванова Г. А., Иванов А. В. Пожары в сосновых лесах Средней Сибири. Новосибирск: Наука. 2015. 240 с.
- Иванова Г. А., Жила С. В., Иванов В. А., Ковалева Н. М., Кукавская Е. А. Постпирогенная трансформация основных компонентов сосняков Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2018. № 3. С. 30–41.
- Косиченко Н. Е., Снегирёва С. Н., Платонов А. Д., Чеботарёв В. В. Повреждение микроструктуры ствола сосны после лесного пожара 2010 года на территории Воронежского учебно-опытного лесхоза // Науч. журн. КубГАУ. 2012. № 78 (04). С. 594–604.
- Косов И. В. Устойчивость хвойных пород к воздействию лесных пожаров: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2006. 135 с.
- Лотова Л. И. Анатомия коры хвойных. М.: Наука, 1987. 152 с.
- Масягина О. В., Прокушкин С. Г., Иванова Г. А. Влияние пожаров на интенсивность дыхания ствола сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Хвойные бореал. зоны. 2007. Т. 24. № 1. С. 82–91.
- Мелехов И. С. Влияние пожаров на лес. М.; Л.: Гос. лесотех. изд-во. 1948. 126 с.
- Платонов А. Д., Курьянова Т. К., Макаров А. В. Распределение влаги по стволу дерева после поражения огнем // Лесотех. журн. 2011. № 3 (3). С. 27–31.
- Платонов А. Д., Снегирева С. Н., Киселева А. В., Топчев А. Н., Мозговой Н. В. Водопоглощение древесины сосны, поврежденной пожаром // Лесотех. журн. 2016. № 4 (24). С. 179–186.
- Погода и климат, 2022. [www.pogodaiklimat.ru](http://www.pogodaiklimat.ru)
- Савченко А. Г. Влияние пожаров на прирост и строение древесины сосны крымской // ИВУЗ. Лесн. журн. 1984. № 3. С. 5–8.
- Снегирева С. Н., Буракова Е. В. Засмоление древесины сосны после пожара // Лесотех. журн. 2013. № 2 (10). С. 83–85.
- Стасова В. В., Зубарева О. Н., Иванова Г. А. Анатомические характеристики луба ствола сосны обыкновенной после лесного пожара // Сиб. лесн. журн. 2015. № 1. С. 74–86.
- Стасова В. В., Зубарева О. Н., Иванова Г. А., Баженова А. Б. Постпирогенные изменения луба ствола сосны обыкновенной // Сиб. лесн. журн. 2020. № 5. С. 14–27.
- Судацкова Н. Е. Метаболизм хвойных и формирование древесины. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1977. 230 с.
- Судацкова Н. Е., Милютин И. Л., Романова Л. И., Косов И. В., Собачкин Д. С. Воздействие низовых пожаров на жизнеспособность и антиоксидантную защиту молодняков сосны обыкновенной в Красноярской лесостепи // Лесоведение. 2015. № 2. С. 95–104.
- Судацкова Н. Е., Романова Л. И., Астраханцева Н. В., Новоселова М. В., Косов И. В. Стрессовые реакции

- деревьев сосны обыкновенной на повреждение низовым пожаром // Сиб. экол. журн. 2016. Т. 23. № 5. С. 739–749.
- Судачкова Н. Е., Романова Л. И., Астраханцева Н. В., Новоселова М. В. Термостойчивость антиоксидантных ферментов в тканях сосны обыкновенной в условиях теплового шока // Сиб. лесн. журн. 2017. № 1. С. 4–14.
- Цветков П. А. О высоте нагара в лиственничниках Эвенкии // Лесоведение. 1994. № 4. С. 90–93.
- Эзау К. Анатомия семенных растений. М.: Мир, 1980. Кн. 1. 229 с. Кн. 2. 230–558 с.
- Яценко-Хмелевский А. А. Основы и методы анатомического исследования древесины. М.; Л.: Ин-т леса АН СССР, 1954. 337 с.
- Alexou M., Dimitrakopoulos A. Early physiological consequences of fire as an abiotic stressor in metabolic source and sink of young Brutian pine (*Pinus brutia* Ten.) // Tree Physiol. 2014. V. 34. Iss. 12. P. 1388–1398.
- Antonova G. F., Stasova V. V. Effects of environmental factors on wood formation in Scots pine stems // Trees. 1993. V. 7. Iss. 4. P. 214–219.
- Antonova G. F., Stasova V. V. Effects of environmental factors on wood formation in larch (*Larix sibirica* Ldb.) stem // Trees. 1997. V. 11. Iss. 8. P. 462–468.
- Antonova G. F., Stasova V. V. Seasonal distribution of processes responsible for radial diameter and wall thickness of Scots pine tracheids // Sib. lesn. zhurn. (Sib. J. For. Sci.). 2015. N. 2. P. 33–40.
- Arbellay E., Stoffel M., Sutherland E. K., Smith K. T., Falk D. A. Changes in tracheid and ray traits in fire scars of North American conifers and their ecophysiological implications // Ann. Bot. 2014. V. 114. Iss. 2. P. 223–232.
- Bär A., Nardini A., Mayr S. Post-fire effects in xylem hydraulics of *Picea abies*, *Pinus sylvestris* and *Fagus sylvatica* // New Phytol. 2018. V. 217. Iss. 4. P. 1484–1493.
- Bär A., Michaletz S. T., Mayr S. Fire effects on tree physiology // New Phytol. 2019. V. 223. Iss. 4. P. 1728–1741.
- Battipaglia G., Micco de V., Fournier T., Aronne G., Carcaillet C. Isotopic and anatomical signals for interpreting fire-related responses in *Pinus halepensis* // Trees. 2014. V. 28. N. 4. P. 1095–1104.
- Begum S., Nakaba S., Oribe Y., Kubo T., Funada R. Changes in the localization and levels of starch and lipids in cambium and phloem during cambial reactivation by artificial heating of main stems of *Cryptomeria japonica* trees // Ann. Bot. 2010. V. 106. Iss. 6. P. 885–895.
- Dickinson M. B., Johnson E. A. Temperature-dependent rate models of vascular cambium cell mortality // Can. J. For. Res. 2004. V. 34. N. 3. P. 546–559.
- Feltrin-Partelli R., Smith A. M., Adams H. D., Kolden C. A., Johnson D. M. Short- and long-term effects of fire on stem hydraulics in *Pinus ponderosa* saplings // Plant Cell & Environ. 2020. V. 44. Iss. 308. P. 696–705.
- Feltrin-Partelli R., Smith A. M., Adams H. D., Thompson R. A., Kolden C. A., Yedinak K. M., Johnson D. M. Death from hunger or thirst? Phloem death, rather than xylem hydraulic failure, as a driver of fire-induced conifer mortality // New Phytol. 2022. V. 237. Iss. 4. P. 1154–1163.
- Gamalei Yu. V., Pakhomova M. V., Syutkina A. V. Regulation of assimilate translocation by plasmodesmata: effect of temperature and water stress // Basic and applied research in plasmodesmata biology / Lucas W., Zichron-Yakov (Eds). Israel, 1996. P. 132–134.
- Gričar J., Hafner P., Lavrič M., Ferlan M., Ogrinc N., Krajnc B., Eler K., Vodnik D. Post-fire effects on development of leaves and secondary vascular tissues in *Quercus pubescens* // Tree Physiol. 2020. V. 40. Iss. 6. P. 796–809.
- Kirdyanov A. V., Saurer M., Siegwolf R., Knorre A. A., Prokushkin A. S., Churakova (Sidorova) O. V., Fonti M. V., Büntgen U. Long-term ecological consequences of forest fires in the continuous permafrost zone of Siberia // Environ. Res. Lett. 2020. V. 15. N. 3. Article 034061. 12 p.
- Knorre A. A., Siegwolf R. T., Kirdyanov A. V., Saurer M., Churakova (Sidorova) O. V., Prokushkin A. S. Fire as a major factor in dynamics of tree-growth and stable  $\delta^{13}C$  and  $\delta^{18}O$  variations in larch in the permafrost zone // Forests. 2022. V. 13. Iss. 5. Article 13050725. 17 p.
- Landsberg J., Richard W. Water relations in tree physiology: where to from here? // Tree Physiol. 2017. V. 37. Iss. 1. P. 18–32.
- Lodge A. G., Dickinson M. B., Kavanagh K. L. Xylem heating increases vulnerability to cavitation in longleaf pine // Environ. Res. Lett. 2018. V. 13. N. 5. Article 055007. 9 p.
- Michaletz S. T., Johnson E. A., Tyree M. T. Moving beyond the cambium necrosis hypothesis of post-fire tree mortality: Cavitation and deformation of xylem in forest fires // New Phytol. 2012. V. 194. Iss. 1. P. 254–263.
- Mundo I. A., González C. V., Stoffel M., Ballesteros-Cánovas J. A., Villalba R. Fire damage to cambium affects localized xylem anatomy and hydraulics: The case of *Nothofagus pumilio* in Patagonia // Amer. J. Bot. 2019. V. 106. Iss. 12. P. 1536–1544.
- Perrakis D. D., Agee J. K. Seasonal fire effects on mixed-conifer forest structure and ponderosa pine resin properties // Can. J. For. Res. 2006. V. 36. N. 1. P. 238–254.
- Salladay R. A., Pittermann J. Using heat plumes to simulate post-fire effects on cambial viability and hydraulic performance in *Sequoia sempervirens* stems // Tree Physiol. 2023. V. 43. Iss. 5. P. 769–780.
- Sauter J. J., Cleve van B. Storage, mobilization and interrelations of starch, sugars, protein and fat in the ray storage tissue of poplar trees // Trees. 1994. V. 8. Iss. 6. P. 297–304.
- Schafer J. L., Breslow B. P., Hohmann M. G., Hoffmann W. A. Relative bark thickness is correlated with tree species distributions along a fire frequency gradient // Fire Ecol. 2015. V. 11. N. 1. P. 74–87.
- Smith K. T., Arbellay E., Falk D. A., Sutherland E. K. Macroanatomy and compartmentalization of recent fire scars in three North American conifers // Can. J. For. Res. 2016. V. 46. N. 4. P. 535–542.
- Sudachkova N. E., Romanova L. I., Astrakhantseva N. V., Novoselova M. V., Kosov I. V. Stress reactions of Scots pine trees to injuring by ground fire // Contemp. Probl. Ecol. 2016. V. 9. Iss. 5. P. 608–616 (Original Rus. text © N. E. Sudachkova, L. I. Romanova, N. V. Astrakhantseva, M. V. Novoselova, I. V. Kosov, 2016, publ. in Sib. ekol. zhurn. 2016. N. 5. P. 739–749).
- West A. G., Nel J. A., Bond W. J., Midgley J. J. Experimental evidence for heat plume-induced cavitation and xylem deformation as a mechanism of rapid post-fire tree mortality // New Phytol. 2016. V. 211. N. 3. P. 828–838.

## PHLOEM- AND XYLOGENESIS IN SCOTS PINE STEMS IN THE POST-FIRE PERIOD

G. F. Antonova, V. V. Stasova, A. S. Morozov, S. V. Zhila, O. N. Zubareva

*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: antonova\_cell@mail.ru, vistasova@mail.ru, MorozovAS@firescience.ru,  
getgain@mail.ru, zon@ksc.krasn.ru

The influence of natural ground fire of varying intensity on the growth processes in the stems of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) trees growing in the Krasnoyarsk forest-steppe was studied. The primary reaction is the decrease in the number of cells in the zones responsible for the formation and development of phloem and xylem cells – cambium, growth by expansion, secondary wall thickening – with increasing in the impact degree of the stem by fire. Thermal impact causes the decrease in moisture in the developing layers of phloem and xylem. These changes in the conditions of cell morphogenesis lead to a decrease in the number of cells produced by the cambium towards the phloem and early xylem tracheids. In the post-fire period, the structure of transport routes (width of rays and their content in tissues), which provide the supply of photoassimilates to developing tissues, changes. The width of the rays in the phloem and xylem increases. The content of rays in the xylem also increases with the degree of impact. In the phloem, the content of rays increases with an average degree of stem damage and decreases with an increase in the degree of damage. At the same time, the content of axial parenchyma in the phloem increases. In the radial and axial parenchyma of the inner bark the content of starch, being reserve pool of carbohydrates for growth processes, varies depending on the degree of exposure to fire on the stems. At the end of the growth season, the number of cells in the formed layer of conductive phloem decreases with increasing in the degree of fire damage to the stem. The volume of the ray system (width of ray and their content), on the contrary, increases significantly with increasing fire impact. In the xylem, as a result of fire exposure, fewer early and late tracheids are formed, their sizes decrease, and the amount of biomass accumulated in the cell walls decreases. In October, after the end of growth processes, there is no starch in the radial and axial parenchyma of the inner cortex.

**Keywords:** *Pinus sylvestris* L., ground fire, xylem, phloem, structure, cells.

**How to cite:** Antonova G. F., Stasova V. V., Morozov A. S., Zhila S. V., Zubareva O. N. Phloem- and xylogenesis in Scots pine stems in the post-fire period // *Sibirskij Lesnoj Zurnal* (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 108–118 (in Russian with English abstract and references).



УДК 630.432:614.842.8

## ОПЫТ ТУШЕНИЯ ТОРФЯНЫХ ПОЖАРОВ ПОДТОПЛЕНИЕМ

И. М. Секерин<sup>1,2</sup>, С. В. Залесов<sup>1</sup>, А. М. Ерицов<sup>2</sup>, А. А. Кректунов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Уральский государственный лесотехнический университет  
620100, Екатеринбург, Сибирский тракт, 37

<sup>2</sup> ФБУ «Авиалесоохрана»  
141207 Московская область, Пушкино, ул. Горького, 20

<sup>3</sup> Уральский институт государственной противопожарной службы МЧС России  
620062, Екатеринбург, ул. Мира, 22

E-mail: nirekes@mail.ru, Zalesovsv@m.usfeu.ru, aeritsov@mail.ru, alexkrec96@mail.ru

Поступила в редакцию 09.03.2023 г.

Обобщен опыт ликвидации торфяных пожаров в летний период на территории Свердловской области. Установлено, что большинство торфяных пожаров развивается из беглых низовых в мае, когда на территории области наблюдается пик горимости. Чаще всего торфяные пожары возникают на заброшенных осушенных торфяниках. При продвижении беглого низового пожара по осушенному торфянику на участках с обнаженным торфом или со значительным запасом напочвенных горючих материалов горение заглубляется в торфяную залежь и формируются многоочаговые торфяные пожары. Кроме того, обнаружение весной на осушенных торфяниках очагов горения нередко связано с непотушенными в прошлом году торфяными пожарами. К наиболее эффективным способам ликвидации торфяных пожаров относится подтопление, при котором создаются специальные плотины высотой до 0.5 м, препятствующие сбросу воды по элементам рельефа, ручьям, канавам. Первая плотина создается в самом низком месте очагов тления, а затем – каскад дополнительных плотин вверх по рельефу местности. Каждая плотина должна держать уровень воды до 0.5 м. Экспериментально установлено, что способом подтопления можно потушить 80 % всех очагов торфяных пожаров. Там, где потушить пожар подтоплением невозможно, его тушат сосредоточенной струей воды. После ликвидации торфяного пожара требуется длительный мониторинг за потушенной площадью, поскольку возможно повторное возгорание от скрытых очагов тления.

**Ключевые слова:** пожары в торфяниках, ликвидация, мониторинг, Свердловская область.

DOI: 10.15372/SJFS20230612

### ВВЕДЕНИЕ

Наблюдающиеся в последние годы изменения климата привели к увеличению продолжительности лесопожарного периода, количества лесных пожаров, а также усилению их интенсивности (Goldammer, Price, 1998; Feurdean et al., 2020). Данное обстоятельство обусловило необходимость пересмотра отношения к охране лесов от пожаров. В частности, доминирование беглых низовых пожаров сменилось значительным увеличением доли устойчивых низовых и торфяных пожаров.

Площадь осушенных торфяников в Свердловской области превышает 81 тыс. га. На боль-

шинстве из них, за редким исключением, не ведется хозяйственная деятельность, поскольку предприятия, ради которых их осушали, либо полностью прекратили свое существование, такие как ТЭЦ, либо не вовлекают данные площади в свою деятельность – предприятия сельского хозяйства. Аналогичная картина наблюдается и в других субъектах Российской Федерации (Куксин и др., 2015).

Точного учета осушенных земель в РФ не ведется. Часть из них передана в государственный лесной фонд, часть разделена между частными лицами в виде сельскохозяйственных паев, часть находится в федеральной собственности в категории земель запаса. Ввиду неопреде-



**Рис. 1.** Осушенный, заросший травянистой растительностью торфяник с пропаханной противопожарной полосой.

ленного статуса указанных земель противопожарная охрана их должным образом не ведется. Осушенные торфяные болота представляют наибольшую пожарную опасность. Благодаря осушению на заброшенных территориях повышается трофность почвы, начинает обильно развиваться травяной покров, а высушенный торф легко воспламеняется и становится отличным объектом горения (рис. 1).

Быстрому распространению огня на осушенных торфяниках способствуют наличие травянистой растительности, являющейся хорошим проводником горения (Мелехов и др., 1982; Залесов, 1998), открытый ландшафт и наличие заболоченных участков и открытых канав, препятствующих передвижению лесопожарной техники.

По многочисленным литературным данным известно, что тушение торфяных пожаров связано с большими трудностями и не всегда обеспечивает желаемый результат (Курбатский и др., 1957; Красавина, Лорбербаум, 1965; Залесов, 1998; Софронов, Волокитина, 2002, 2012; Орловский, 2010; Залесов и др., 2016; Секерин и др., 2022б). Несмотря на имеющийся успешный опыт ликвидации торфяных пожаров в РФ, нередко они остаются непотушенными до выпадения снега и продолжают гореть до весны (Сретенский, 1980; Секерин и др., 2022а).

Увеличение доли торфяных пожаров и специфика их тушения обусловили необходимость обобщения опыта борьбы с ними.

Цель данной работы – анализ различных способов тушения торфяных пожаров и разработка на основе полученных данных предложений по совершенствованию их ликвидации.

## **МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ**

Объектом изучения служили торфяные пожары, возникшие на территории Свердловской области в 2021–2022 гг. В процессе исследований анализировались причины их возникновения и эффективность тушения различными способами.

В процессе выполнения работ использовались статистические материалы о горимости лесов Свердловской области, данные аэрофотосъемки, выполненной с беспилотных летательных аппаратов, а также научные и ведомственные материалы, касающиеся обнаружения и тушения торфяных пожаров.

## **РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Согласно статистической отчетности, до 2020 г. возгорания на осушенных торфяниках фиксировались редко и не наносили существенного ущерба. Однако засушливые сезоны 2020–2022 гг. привели к резкому увеличению количества торфяных пожаров в Свердловской области, в том числе и на осушенных площадях.

В основном пожары возникали в Березовском ГО, МО г. Екатеринбург, Невьянском, Артемовском ГО, ГО Тугулым, единично – в Сысертском, Каменском и Белоярском ГО. Развитие торфяных пожаров происходит на осушенных торфяниках преимущественно по одному сценарию. В весенний период огонь беглого низового пожара, возникшего чаще всего на сопредельной с осушенным торфяником территории, по сухой траве быстро распространяется на всей территории торфяника.

В Свердловской области – это обычно начало мая. Ситуацию усугубляет тот факт, что в это время наблюдается пиковая горимость в лесном фонде и все силы пожаротушения задействованы на борьбе с лесными пожарами на покрытых лесом площадях. Тушение пожаров на прочих землях оставляется на потом. Кроме того, четко не определен механизм финансирования работ по ликвидации пожаров на территориях, не входящих в лесной фонд.

Нередко на осушенных торфяниках имеют место участки с обнаженным торфом, т. е. лишённые живого напочвенного покрова, которые образовались в местах добычи торфа местным населением для удобрения садовых участков или при непродуманной прокладке минерализованных полос. На участках с обнаженным торфом или с наличием большого количества горючих материалов беглый низовый пожар заглубляется в торф, развивается в торфяной многоочаговый пожар. Кроме того, зафиксированы случаи возникновения многоочаговых торфяных пожаров на осушенных торфяниках, где весной текущего года не было низовых пожаров. Возникновение таких пожаров объясняется наличием непотушенных торфяных пожаров прошлого года, успешно «перезимовавших» в торфяной залежи. Не потушенные ранее пожары представляют большую опасность, поскольку служат причиной возникновения низовых пожаров, быстро распространяющихся по сухой прошлогодней траве. Как следствие возникают новые многоочаговые торфяные пожары, даже если не потушенным оставался только один торфяной пожар.

Тушение таких пожаров в первую очередь следует начинать с ликвидации беглого низового пожара, поскольку, чем большую площадь пройдет низовый пожар, тем на большей площади возникают очаги горения торфа. На практике от 20 до 60 % площади низового пожара на осушенном торфянике переходит в торфяной (рис. 2).

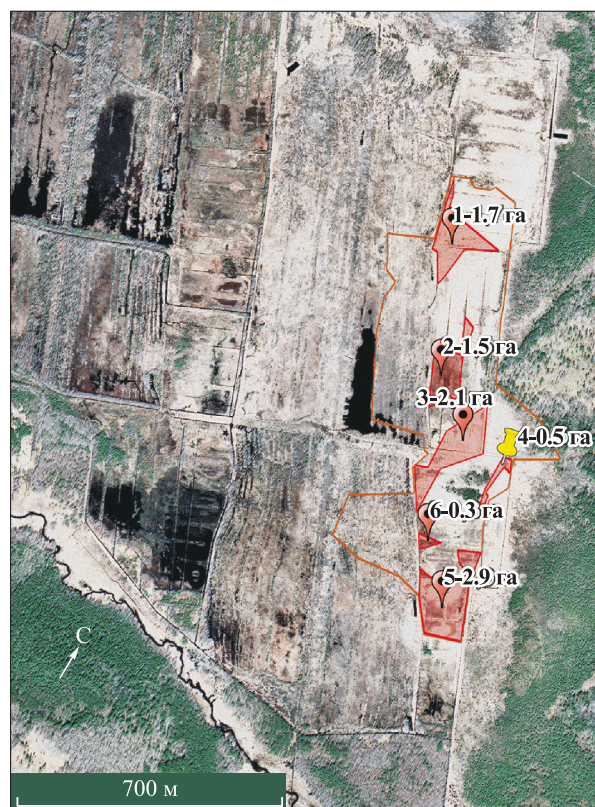


Рис. 2. Контур низового беглого пожара и образовавшиеся в нем очаги торфяного пожара.

После того как низовый пожар будет потушен, особое внимание следует уделить постоянному мониторингу за кромкой этого пожара, так как чаще всего она проходит по торфянику, следовательно, создать надежную минерализованную полосу вдоль нее не представляется возможным. Постоянное тление, происходящее в торфянике, приводит к выгоранию корней и вывалу деревьев. Листва поваленных деревьев, при тушении пожаров в мае-июне и другие летние месяцы, быстро высыхает, опадает, воспламеняется от тлеющего торфа и разносится ветром, образуя новые очаги горения.

Пропаханная по торфяному полю противопожарная полоса не является надежным барьером и лишь замедляет распространение огня на некоторое время.

Так как торфяной пожар распространяется медленно, имеется время на его разведку. При разведке особое внимание уделяется определению источников воды, их дебету, элементам водосбора, рельефу. При этом создается схема пожара, на которой следует указать очаги тления, элементы мелиоративной системы: осушительные каналы, наличие воды в каналах, направленные течения воды, источники воды, основные элементы гидрографии (рис. 3).

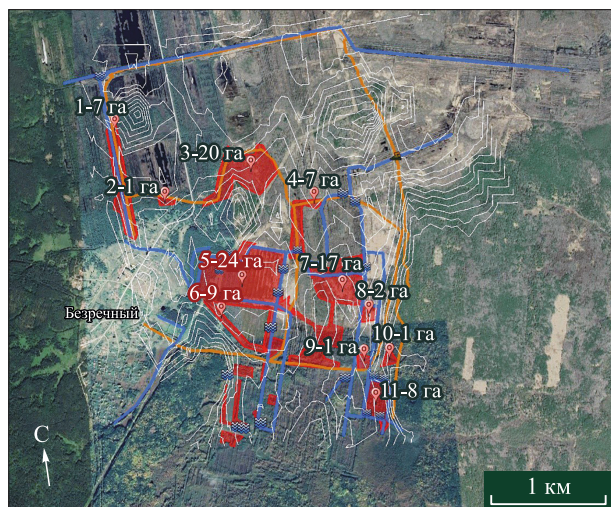


Рис. 3. Схема многоочагового торфяного пожара.

Значительно ускоряет эту работу использование беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) с установленными на них тепловизорами. Далее следует изучить рельеф, для чего целесообразно использовать приемники глобальной навигационной спутниковой системы (ГНСС).

При использовании приемника ГНСС есть два варианта: проводить съемку в существующей сети либо с использованием одного из них в качестве базовой станции, а остальных – в качестве подвижных приемников. Последний вариант будет предпочтительней, поскольку он не

зависит от наличия сотовой связи. Привязка к балтийской системе координат не существенна.

Для ускорения работ можно увеличивать количество приборов. При проведении указанных работ важно на местности обозначить место базовой станции, выставить одинаковую высоту вешек на подвижных приемниках и контролировать ее во время работы.

Детальное изучение рельефа позволяет в дальнейшем проектировать оптимальную систему плотин и каналов, которая позволит перераспределить водные потоки и провести подтопление очагов горения. Начинать тушение следует с работ по перекрытию ручьев, канав и каналов, по которым вода вытекает из зоны действия пожара. Далее создают заградительные плотины в самых низких местах, постепенно перекрывая осушительные каналы. Двигаться следует снизу вверх, создавая каскад плотин высотой не более полуметра. Поднятие воды в каналах приводит к поднятию грунтовых вод, а капиллярное натяжение позволяет увлажнить торф до состояния прекращения горения (рис. 4).

При проектировании площади затопления необходимо учитывать, что влажный торф значительно теряет несущую способность, поэтому планировать места проезда, в том числе тяжелой болотоходной техники, следует с учетом этих обстоятельств. Если подтопление следует выполнять снизу вверх, то транспортные пути



Рис. 4. Потушенный торфяной пожар в результате искусственного подъема уровня воды.



Рис. 5. Гребень плотины и образовавшийся перелив.

нужно создавать сверху вниз, чтобы в процессе тушения не терять возможность передвижения транспорта.

К создаваемым плотинам предъявляются определенные требования, так как на торфяниках трудно найти другой грунт кроме торфа, то приходится использовать именно его. Торф – не самый лучший материал для плотин, он легко размывается водой, поэтому если плотина небольшая и создается вручную, то имеет смысл набивать торфом полипропиленовые мешки и уже из них строить тело плотины.

При создании плотин бульдозерами для их укрепления поперек канала в качестве арматуры используются деревья и на них уже нагребается торф. После каждого нагребенного слоя необходимо, чтобы бульдозер уплотнял его траками. Гребень плотины должен быть всегда выше, чем поверхность почвы вокруг неё, это не даст воде при переполнении канала течь по телу плотины и размывать ее. Перелив лучше планировать по самому низкому не прогревшему участку. Дерн, который обычно там находится, отлично препятствует размыванию грунта потоками воды (рис. 5). Необходимость создания надежных плотин объясняется тем, что во избежание возобновления горения они должны удерживать воду после затопления как минимум до зимы. При проектировании плотин важно детально обследовать трассы их создания на наличие подземных нор и каналов, так как

последние сведут на нет все усилия по созданию плотины.

При создании каскада плотин нужно руководствоваться тем, чтобы каждая плотина держала уровень воды не больше чем полметра. Благодаря измерению рельефа рассчитать расстояния между плотинами не составит особого труда. На практике при использовании такого метода удается подтопить до 80 % всех очагов торфяного пожара, при этом нет необходимости вести активные действия по непосредственному тушению, а высвободившиеся ресурсы можно задействовать на тушение тех территорий, которые не удалось подтопить.

Тушение остальных очагов осуществляется преимущественно двумя способами. Первый – при наличии большого количества воды ставятся насосные станции либо высокопроизводительные мотопомпы и подается вода на преобладающую высоту, она растекается по рельефу и подтопляет территорию ниже по склону. Крайне желательно использовать при тушении торфяных пожаров воду с поверхностно активными веществами (смачивателями), как это рекомендуется в научной литературе (Залесов, 1998). Однако для этого способа требуется иметь большой запас воды. Последнее объясняет необходимость использования большого объема смачивателя. Отсутствие последнего обусловило использование нами при тушении торфяного пожара воды без смачивателя.



Рис. 6. Насосная станция на базе ГТ-ТМС.

Преимущество способа – отсутствие необходимости в большом количестве ручного труда. На практике хорошо зарекомендовала себя дизельная насосная установка ДНУ-125 на базе плавающего гусеничного вездехода транспортера-тягача модернизированного снегоболотного (ГТ-ТМС) (рис. 6).

Благодаря плавающей системе шасси ГТ-ТМС преодолевает практически любую местность, что позволяет использовать его при прокладке и сборке рукавной линии практически по любому ландшафту, организовать водозабор с любого водоема, а установленный в нем дренажный насос перекачивает воду независимо от наличия в ней примесей торфа, водорослей и прочих веществ. Также хорошо зарекомендовали себя плавающие мотопомпы производительностью 20 л/с (рис. 7).

Из-за своей конструкции плавающие мотопомпы не требовательны к берегу водоема, водозабор у них расположен на 5 см ниже ватерлинии, благодаря чему не засасывается мусор с водной глади или со дна водоема, а производительности мотопомпы вполне достаточно, чтобы организовать магистральную линию из рукавов диаметром 150 мм.

Когда применение отмеченных выше способов не представляется возможным, то остается тушение очагов мотопомпами с применением противопожарных стволов. Его следует начи-

нать от края к центру, чтобы избежать прогорания пожарных рукавов. Самым оптимальным оказалось следующее сочетание: 1 мотопомпа, две линии со столами и 6 человек. Запитку линий можно организовать и от пожарной насосной станции. При этом на линии работают 2 человека: 1 держит на плече рукав, а второй работает стволом, направляя струю вертикально вниз. Тушение торфяных пожаров при заливании горящих участков струей воды существенно отличается от такого способом подтопления.



Рис. 7. Плавающая мотопомпа.

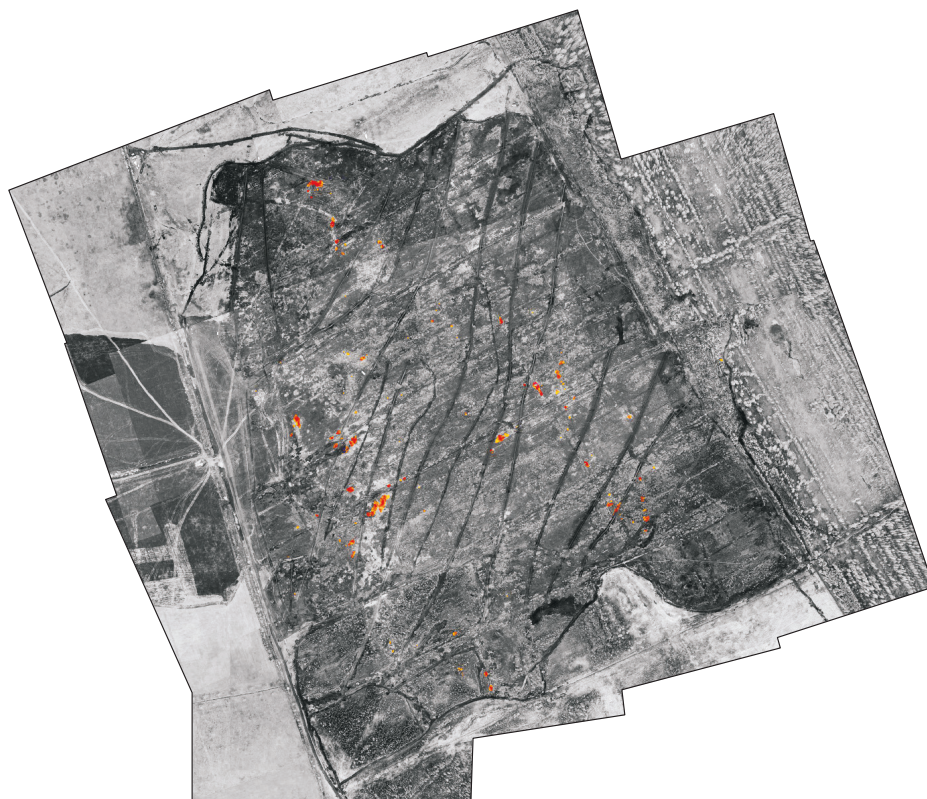


Рис. 8. Ортофотоплан со скрытыми очагами горения.

Так, горение верхнего слоя каверн продолжается даже при обильной проливке, поскольку вода не поднимается, т. е. не подтопляет всю каверну, а лишь смачивает торф на ее дне и боковых стенках. Таким образом, горение (тление) происходит под верхним слоем почвы, куда вода не может попасть, заливание водой лишь создаст иллюзию того, что пожар потух, но, как правило, горение в таких местах возобновляется уже на следующий день. Правильной техникой тушения следует считать размывание струёй воды края каверны, при этом постоянно контролируя температуру торфа. Очень удобно использовать для этого термощуп, который позволяет определить границы и глубину очага горения. При отсутствии термощупа можно использовать руки, при понижении температуры ниже 40 °С горение прекращается, на практике, если температура ниже температуры тела, то тушение этого очага можно считать успешным. Тушение таким способом – самое трудозатратное и использовать его рекомендуется на как можно меньшей площади, где другими способами это сделать невозможно.

В последней стадии тушения торфяных пожаров необходимо тщательно проверить территорию на наличие недотушенных или пропу-

щенных очагов. Сделать это довольно сложно еще и потому, что тление сухого торфа происходит без выделения видимого дыма. Последнее приводит к тому, что обычным способом заметить очаг тления практически невозможно. Как вариант мы используем БПЛА с тепловизором, с помощью которого создается ортофотоплан в видимом и инфракрасном свете, который в последующем совмещается с топографической картой и загружается в навигатор (рис. 8).

Используя этот план, группы пожаротушения на местности определяют расположение и дотушивают оставшиеся очаги. Полностью потушить крупные многоочаговые торфяные пожары в летний сезон практически невозможно, на практике даже на хорошо контролируемой территории новые очаги возникают и через 2 нед, и через месяц, поэтому важно организовать постоянный мониторинг этих площадей. Целесообразно сразу после ликвидации пожара проводить его раз в 3 дня, затем 1–2 раза в неделю. При этом созданная система плотин позволит малыми силами с использованием мотопомп тушить появляющиеся очаги. Окончательно дотушить такие пожары с гарантией того, что пожар не возобновится, возможно только в зимнее время.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенного анализа причин возникновения торфяных пожаров и способов их тушения были сделаны следующие выводы.

1. Наибольшую опасность, в плане возникновения торфяных пожаров, представляют осушенные торфяники.

2. Как правило, торфяные пожары развиваются из беглых низовых или непотушенных прошлогодних торфяных пожаров.

3. Эффективность тушения торфяных пожаров снижается по причине нерешенности вопроса финансирования работ по тушению на землях нелесного фонда.

4. В летний период торфяные пожары лучше всего тушить подтоплением, перекрывая естественные потоки воды на участках с очагами тления торфа.

5. Там, где потушить пожар подтоплением невозможно, он тушится подачей больших объемов воды с разбиванием тлеющего торфа сосредоточенной струей.

6. После ликвидации торфяных пожаров требуется длительный мониторинг за потушенной площадью, поскольку тление может возобновиться.

7. При мониторинге целесообразно использовать БПЛА, оснащенный тепловизором.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Залесов С. В. Лесная пирология. Екатеринбург: УГЛТУ, 1998. 296 с.
- Залесов С. В., Годовалов Г. А., Кректунов А. А., Залесова Е. С., Оплетев А. С. Использование системы пожаротушения NATISK при ликвидации торфяных пожаров // Леса России и хоз-во в них. 2016. № 1 (56). С. 4–10.
- Красавина Н. Н., Лорбербаум В. Г. Новый способ тушения лесных торфяных и подстильно-гумусовых пожаров // Современные вопросы охраны лесов от по-

жаров и борьбы с ними. М.: Лесн. пром-сть, 1965. С. 179–183.

Куксин Г. В., Крейндин М. Л., Кориунов Н. А. Рекомендации по тушению торфяных пожаров на осушенных болотах. М.: ВИПКЛХ, GREENPEACE, 2015. 110 с.

Курбатский Н. П., Красавина Н. Н., Жданко В. А. Лесные почвенные пожары и борьба с ними. Л.: ЛенНИИЛХ, 1957. 32 с.

Мелехов И. С., Душа-Гудым С. И., Сергеева Е. П. Лесная пирология: учеб. пособие для студентов лесохоз. фак. М.: МЛТИ, 1982. 68 с.

Орловский С. Н. Торфяные пожары, их предупреждение, обнаружение и тушение: учеб. пособие для студентов, обучающихся по специальности 280102 «Безопасность технологических процессов и производств». Красноярск: КрасГАУ, 2010. 156 с.

Секерин И. М., Годовалов Г. А., Ерицов А. М., Залесов С. В. Специфика распространения и тушения торфяных пожаров в зимний период // Лесн. вестн. 2022а. Т. 26. № 5. С. 64–70.

Секерин И. М., Ерицов А. М., Кректунов А. А., Залесов С. В. Опыт тушения торфяных пожаров на Среднем Урале // Междунар. науч.-иссл. журн. 2022б. № 5 (199). Ч. 2. С. 81–85.

Софронов М. А., Волокитина А. В. О контроле почвенно-торфяных пожаров на территории, загрязненной радионуклидами // Предупреждение, ликвидация и последствия пожаров на радиоактивно загрязненных землях. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2002. С. 70–73. (Сб. науч. тр.; Вып. 54).

Софронов М. А., Волокитина А. В. Рекомендации по охране от пожаров южно-таежных заболоченных лесов Сибири. Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, 2012. 42 с.

Сретенский В. А. Тушение торфяных пожаров // Лесн. хоз-во. 1980. № 7. С. 54–56.

Feurdean A., Florescu G., Tântău I., Vannièrè B., Diaconu A.-C., Pfeiffer M., Warren D., Hutchinson S. M., Gorina N., Galka M., Kirpotin S. Recent fire regime in the southern boreal forests of Western Siberia is unprecedented in the last five millennia // Quaternary Sci. Rev. 2020. V. 244. Article: 106495.

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. P. 273–296.



## AN EXPERIENCE IN EXTINGUISHING PEAT-BOG FIRES BY FLOODING

I. M. Sekerin<sup>1,2</sup>, S. V. Zalesov<sup>1</sup>, A. M. Eritsov<sup>2</sup>, A. A. Krektunov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Ural State Forest Engineering University  
Sibirskiy trakt, 37, Yekaterinburg, 620100 Russian Federation

<sup>2</sup> FBU «Avialesookhrana»  
Gorkiy str., 20, Pushkino, Moscow Oblast, 141207 Russian Federation

<sup>3</sup> Ural Institute of the State Fire-Control Service, Ministry of Emergency Situations of Russia  
Mira str., 22, Yekaterinburg, 620062 Russian Federation

---

E-mail: nirekes@mail.ru, Zalesovsv@m.usfeu.ru, aeritsov@mail.ru, alexk-rec96@mail.ru

An experience of eliminating peat-bog fires in summer period on the territory of Sverdlovsk Oblast is summarized in the article. It was found that most peat-bog fires develop from fugitive grassroots fires in May, when forest fire peak is observed in the region. Most often, peak fires occur on abandoned drained peat bogs. When a runaway ground fire spreads across an uncovered peat bog in areas with bare peat or with a significant supply of ground combustible materials combustion deepens into a peat deposit and multifocal peat-bog fires are formed. In addition, the detection of fires in drained peatlands in spring is often associated with peat fires that were not extinguished last year. The most effective way to eliminate peat-bog fire is flooding, in which special dams are created up to 0.5 m high, which prevent the discharge of water along the relief elements streams, and channels. The first dam is created in the lowest place of the smoldering centers and then a cascade of additional dams is created up the terrain relief. Each dam should hold the water level up to 0.5 m. It is experimentally established, that by the method of flooding 80 % of all peat-bog fires can be extinguished. Where it is impossible to extinguish fire by flooding, it is extinguished with a concentrated stream of water. After the elimination of peat-bog fire it is required long term monitoring of the extinguished area, since it is possible that open smoldering foci will reignite.

**Keywords:** *fires in peat-bogs, elimination, monitoring. Sverdlovsk Oblast.*

**How to cite:** *Sekerin I. M., Zalesov S. V., Eritsov A. M., Krektunov A. A. An experience in extinguishing peat-bog fires by flooding // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 119–127 (in Russian with English abstract and references).*

## ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

УДК 614.84+630.43

### РАЗВИТИЕ СРЕДСТВ НАВИГАЦИИ И СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В ЛЕСНОМ ПОЖАРОТУШЕНИИ

А. В. Брюханов, Р. В. Котельников

*Центр лесной пирологии, развития технологий охраны лесных экосистем, защиты и воспроизводства лесов – филиал Всероссийского НИИ лесоводства и механизации лесного хозяйства  
660062, Красноярск, ул. Крупской, 42*

E-mail: flamespot@mail.ru, kotelnikovrv@firescience.ru

*Поступила в редакцию 17.06.2022 г.*

Представлен аналитический обзор систем спутниковой навигации с точки зрения пользовательских устройств и глобальной организации, а также приборов приема и обработки пространственной информации в контексте их использования при мониторинге и тушении пожаров в природной среде. Описаны перспективные российские и зарубежные разработки в области спутниковой навигации и передачи информации, которые позволяют существенно увеличить эффективность тушения пожаров и безопасность борьбы с огнем в природной среде. Определен наиболее оптимальный вариант управления силами и средствами пожаротушения, который предусматривает построение системы, комбинирующей возможности применения как радио-, так и спутниковых каналов связи. Данный подход позволит существенно повысить безопасность выполнения мониторинга и борьбы с природными пожарами, а также организовать современную надежную и независимую систему поддержки принятия решений, тем самым значительно улучшить качество и экономическую эффективность работ в лесном пожаротушении. Предлагаются необходимые изменения, целесообразные для преодоления имеющегося технологического отставания России от стран-лидеров в области информатизации борьбы с пожарами в природной среде.

**Ключевые слова:** *спутниковая навигация, трекер, лесные пожары, безопасность пожарных, маяки безопасности, системы поддержки принятия решений.*

DOI: 10.15372/SJFS20230613

#### ВВЕДЕНИЕ

Навигация на пожарах имеет крайне важное значение для организации оперативного и безопасного их тушения. Важность информации о местоположении сил и средств пожаротушения существенно повышается, если речь идет о борьбе с крупными пожарами в природной среде. На таких пожарах подразделениям приходится работать разрозненно на больших площадях, зачастую в условиях сложного рельефа и бездорожья. Взаимодействие между группами тушения в подобных случаях необходимо организовывать на расстоянии до нескольких десят-

ков километров, ориентируясь, как правило, на совершенно незнакомой местности.

Впервые для России приводится анализ уровня использования индивидуальных устройств точного позиционирования на местности в лесном пожаротушении, как для нашей страны, так и для крупнейших лесных держав. Сделана попытка оценки уровня интеграции в практику пожаротушения систем сбора, обработки, передачи и отображения навигационной информации и построения на их основе систем поддержки принятия решений (СППР).

Многие десятилетия карта (план) и компас были единственными средствами точного опре-

деления координат в пространстве не только при борьбе с огнем в природной среде, но и в целом в лесном хозяйстве. Впервые в середине XX в. у лесных пожарных стали появляться аэрофото- снимки, а еще позже – и космическими снимки местности (но обычно совсем не «реального времени»). Однако значительные изменения в качестве навигации произошли лишь с падением цен на GPS-приемники (от англ. Global Positioning System – первая система глобального позиционирования в мире) и со снятием большинства ограничений использования и условий регистрации этих устройств (в России в 2007 г.) (Постановление..., 2007; Приказ..., 2007).

Главной целью данного исследования стал анализ существующих систем спутникового мониторинга (как в России, так и за рубежом), а также спектра специальных приборов приемки и обработки информации, применяемых при борьбе с пожарами, возникающими в природной среде. Это необходимо для того, чтобы ознакомить отечественных практиков пожаротушения и разработчиков профильного оборудования с действующим положением дел в данной важной области, так как обеспечение огнеборцев подобными средствами напрямую влияет на безопасность и эффективность борьбы с огнем в природной среде. Задачами работы было показать современный модельный ряд устройств и программного обеспечения, а также рекомендовать наиболее перспективные подходы для улучшения практики отечественного лесного пожаротушения с точки зрения полезной информатизации.

Термин Global Navigation Satellite System – GNSS (Глобальная навигационная спутниковая система) стал широко применяться в мире, когда помимо GPS-навигации появились и другие глобальные спутниковые системы точного позиционирования в пространстве (российская ГЛОНАСС, европейская Галилео, китайская BeiDou). В настоящее время аббревиатуру GNSS используют для устройств, принимающих одновременно сигналы как минимум с двух любых глобальных систем навигации.

## **ИСТОРИЯ НАВИГАЦИИ И СВЯЗИ В ЛЕСНОМ ПОЖАРОТУШЕНИИ**

С самого начала организованной борьбы с пожарами в природной среде большинство профильных специалистов указывало на крайнюю важность оперативного понимания того, где находятся силы и средства пожаротушения отно-

сительно кромки пожара и друг друга. На этом в своих трудах акцентировали внимание классики отечественного лесного пожаротушения, работавшие в начале и середине XX в. и заложившие основы российской лесной пирологии (Мелехов, 1935; Серебренников, Матренинский, 1938; Анцышкин, 1951; Курбатский, 1962). В прошлом столетии местоположение в пространстве команды пожарных в незнакомых районах могли определять только по планам, картам, а позднее еще и аэро- и космическими снимкам. Для координации сил и средств между подразделениями изначально, на пожарах были лишь громкоговорители и посыльные. Настоящим качественным изменением стало использование радиосигнала для передачи оперативных данных. Первыми по применению голосовой радиосвязи «на кромке» стали США (экспериментально с 1931 г.), а в России подобные опыты начались с 1935 г. Ранее были попытки осуществления оперативного обмена информацией на лесных пожарах с помощью радиокодов (в том числе и азбуки Морзе). Несмотря на более дальнюю и надежную связь в радиокодах, практика показала, что более эффективны в полевых пожарных условиях именно «радиофоны» (radiophone) (Forrest, 1937) с возможностью двухстороннего общения в реальном времени (изначально симплексные, а затем дуплексные голосовые рации).

Спутниковую навигацию на местности специалисты лесного пожаротушения начали широко использовать в 90-е годы XX в. в Северной Америке. В 1994 г. Лесной службой США был впервые выпущен буклет «GPS Use in Wildland Fire Management», где подробно пояснялось как наиболее эффективно работать с абсолютно новой на тот период времени технологией (Mangan, 1994). Летчиками-наблюдателями для своих задач в России навигаторы начали применяться со второй половины 1990-х. Первое задокументированное экспериментальное использование GPS в лесном пожаротушении наземными силами в России относится к 1999–2000 гг., когда специалисты ВНИИПОМлесхоза начали применять средства спутниковой навигации для более быстрого выведения механизированных отрядов к месту тушения крупных пожаров в Красноярском крае (Главацкий и др., 2002).

С начала XXI в. лесные пожарные и огнеборцы, действующие в населенных пунктах и промышленных объектах, стали проводить опыты с первыми, еще достаточно объемными и тяжелыми GPS-маяками. Прототипы этих устройств (прикрепляемые на пояс) появились у пожарных,

работающих в условиях повышенного задымления на промышленных объектах. Интересной их особенностью было то, что помимо сигналов от GPS-спутников они могли дополнять информацию о местонахождении пожарного с помощью данных, получаемых с акселерометров и гироскопов, а для их передачи использовались вспомогательные Wi-Fi- и Bluetooth-каналы. Первый подобный портативный прибор для пожарных был выпущен в 2010 г. компанией TRX Systems и назывался Sentrix Tracking (O'Brien, Kellan, 2011).

В лесное пожаротушение данные технологии начали поступать несколько позже. Впервые на высоком уровне вопросы о точном и постоянном определении местоположения каждого лесного пожарного на кромке начали задавать в 2013 г., когда Лесная служба США только на одном крупном пожаре в штате Аризона (Yarnell Hill Fire) потеряла погибшими 19 специалистов команды тушения. Это – крупнейшая разовая потеря (по численности) лесных огнеборцев в Соединенных Штатах в XXI в. на отдельно взятом пожаре и третья за всю историю лесного пожаротушения в стране (1991 г., East Bay Hills Fire – 25 чел.; 1933 г. Griffith Park Fire – 29 чел., погибших). По результатам проведенных исследований, причиной практически полной гибели группы пожарных Granite Mountain Hotshots (19 из 20 чел.) стало внезапное ее окружение огнем. Установлено, что у команды имелись работающие средства связи и GPS-навигатор. Однако точного местоположения группы пожарных штаб тушения не знал и не смог заранее их предупредить о изменившемся фронте пожара, который отрезал им пути отхода в безопасный район. После проведенного профильными экспертами анализа данной трагедии Лесной службе США (USDA Forest Service) и Национальному управлению по авионавигации и исследованию космического пространства (NASA) было рекомендовано наладить более тесную кооперацию и активизировать свои действия в разработке специального прибора для точного определения мест базирования персонала и его своевременного информирования. Особое внимание в отчете акцентировалось на необходимости кардинального улучшения ситуации с передачей оперативных данных о погоде и направлениях движения огня с целью обеспечения большей безопасности работы лесных пожарных (Woodfill, 2014; Markland, 2016; Grace, 2023).

Эта работа показала важность наличия у каждого лесного пожарного небольшого и не-

дорогого спутникового маяка, а у руководителя тушения пожара (РТП) – еще и мобильного устройства поддержки принятия решений (как правило, компактного планшета с диагональю до 10 дюймов (около 25 см) с предустановленным специальным программным обеспечением).

## АНАЛИЗ СОВРЕМЕННОЙ СИТУАЦИИ И ЕЕ ОБСУЖДЕНИЕ

**Основные системы точного позиционирования в пространстве.** Массовое распространение сначала компактных компьютеров и планшетов, а затем и смартфонов, обладающих доступом не только к GSM-связи, но и возможностью обмена информацией по радио и спутниковым каналам, позволили говорить о появлении в практике лесного пожаротушения СППР. Своевременное применение компактных и недорогих устройств ориентирования на местности позволяет не только значительно повысить безопасность и производительность работ по пожаротушению, но и более широко использовать силы Федерального резерва ФБУ «Авиалеосохрана» (создан в 2011 г.). Имея карты и GPS-приемники, силы федерального резерва смогли эффективно действовать преимущественно в автономном режиме в незнакомых лесах без поддержки местных лесных пожарных или проводников (Краткая справка..., 2014).

Среди инструментов точного определения географических координат наиболее массовыми в мире уже более 30 лет остаются приборы GPS. Однако с каждым годом на рынке гражданской продукции все чаще появляются портативные устройства связи и навигации с встроенным совмещенным приемником, например ГЛОНАСС/GPS и другими. ГЛОНАСС – Глобальная навигационная спутниковая система, первоначальное строительство которой было завершено в 1983 г., Европейская система навигации GALILEO (European Union Satellite System) и китайская BeiDou (BeiDou Navigation Satellite System – BDS COMPASS) на российском рынке среди готовых решений пока представлены ограниченно, но у КНР и России в последние годы есть взаимный интерес к кооперации в данной сфере и вполне возможно, что в ближайшем будущем в продаже появятся недорогие устройства в формате трех систем – ГЛОНАСС/GPS/BeiDou. Уже сейчас существуют навигационные приборы, способные работать не только с тремя системами глобальной навигации, но и полностью со всеми четырьмя стандартами (ГЛОНАСС/GPS/

Galileo/BeiDou). Однако, в силу более высокой стоимости производства, их устанавливают пока преимущественно на крупном транспорте, действующем в разных точках планеты (прежде всего в авиации и морском судоходстве) или в самых высокоточных геодезических приборах.

Для региональных и федеральных лесопожарных служб также рекомендуется закупка приемников информации о точном позиционировании в пространстве, поддерживающих как можно больше стандартов. Учитывая значительную площадь России, для Европейской части идеальным было бы использование устройств, принимающих сигналы со спутников систем ГЛОНАСС/GPS/GALILEO, а для Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации – с ГЛОНАСС/GPS/BeiDou. Это позволит увеличить точность, оперативность и надёжность получения данных о нахождении групп тушения на местности.

В начале 20-х годов XXI в. отечественные армейские системы навигации и помощи принятия решений базируются преимущественно на российской системе ГЛОНАСС, однако, в отличие от вопросов обороны и безопасности страны, мониторинг и ликвидация пожаров должны опираться на максимально возможное количество глобальных систем спутниковой навигации, что поможет значительно улучшить точность и качество получаемых лесными пожарными информации.

**Индивидуальные устройства-маяки для передачи геопространственной информации.** Современные GNSS-маяки (трекеры, извещатели – слова синонимы) предназначены для определения координат на поверхности Земли, передачи данных на наземные станции управления, способны служить ретрансляторами связи между беспилотным воздушным судном (БВС) и мобильным устройством управления. Маяки оборудованы модулем связи Bluetooth, могут подключаться к планшетному компьютеру либо к телефону под управлением ОС Android или iOS (Брюханов, 2019).

Каждый маяк может быть идентифицирован по уникальному номеру, а его координаты отображаются при помощи специального программного обеспечения. РТП со своего устройства видит расположение всех маяков и может поставить задачи как для всех одновременно, так и для каждого бойца на кромке в отдельности. Кроме того, очень важно установить данные GNSS-маяки на все транспортные и лесопожарные единицы техники, привлекаемые к туше-

нию. Это позволит РТП не только контролировать оперативные сведения, но и в дальнейшем упростить подготовку отчетной документации, так как пробег тракторов и машин будет рассчитываться автоматически.

Применение данных устройств на основе GNSS-навигации с соответствующим обменом информацией по радио и спутниковым каналам связи позволит не только существенно повысить безопасность проведения мониторинга и борьбы с лесными пожарами, но и организовать качественную СППР, и, как следствие, увеличить эффективность работ, а также снизить необоснованные затраты.

За рубежом эти технологические компетенции достаточно активно развиваются. Например, в США и Канаде уже есть подобные системы, успешно действующие на практике, которые помогают группам тушения избежать окружения пожарами или попасть под сбросы с воздуха огнегасящих веществ (вода и ее растворы) авиатанкерной техникой.

Современные электронные маяки имеют высокоскоростные модемы для передачи местоположения (сообщают данные на базовую станцию на расстояние до 10 км), мощные аккумуляторы (до 15 ч в активном режиме на одном заряде), и все это заключено в влаго- и ударозащищенный корпус с компактными размерами (умещаются в нагрудный карман) (Стрелец..., 2017). В Российской Федерации такое оборудование достаточно широко распространено в армии и уже начало поступать в гражданские сферы использования, однако в лесном секторе среди специалистов, работающих в полевых условиях, приборы подобного класса встречаются пока крайне редко (рис. 1).

Все армейские устройства оснащены закрытым радиообменом (для лесопожарных целей он не нужен) и ГЛОНАСС-приемниками позиционирования, что позволяет информировать бойцов о текущей и прогнозируемой окружающей ситуации, а также вести более четкое планирование и координацию действий.

Помимо самих устройств отображения информации, по-прежнему большой проблемой остается сбор и оперативная передача объективных сведений. Современные зарубежные СППР (например, WindNinja), дают возможность моделировать перемещения воздушных потоков в приземном слое воздуха на высоте до 100 м. Данная система (WindWizard..., 2023), созданная Missoula Fire Sciences Lab. (США, штат Монтана), имеет программное обеспече-



**Рис. 1.** Элементы российской армейской защищенной системы поддержки принятия решений (масштаб не соблюден).

*а* – командирский планшет; *б* – индивидуальный приемник бойца НПД; *в* – браслет «Стрелец-Часовой»; *г* – «умные» часы с дисплеем «Стрелец-Командир» в армейском (сверху) и гражданском (снизу) вариантах.

ние не только для портативных компьютеров, но и смартфонов (как на iOS, так и на Android). WindNinja способно обчислять как ветровые потоки, так и скорость, и перемещения фронта пожара на подробных цифровых картах рельефа площадью до  $50 \times 50$  км, с разрешением каждого пикселя около  $100 \times 100$  м (WindNinja..., 2023).

Помимо стандартных навигационных программ, требующих постоянного обновления ситуации с метеоданными и местонахождения, достаточно недорогим и востребованным стало внедрение «off-line навигации», когда отметки координат определяются через заранее выставленный период времени. Это помогает обходиться без мобильного и интернет-трафика и постоянной работы навигационного приемного устройства (смартфона или планшета), а также экономит заряд батарей у устройств, сокращает затраты на обслуживание системы и дает возможность во многом отказаться от бумажных карт и планшетов. Кроме того, особенно при плохом освещении навигация с помощью карты на экране обычно значительно удобнее, чем на бумажном носителе. Наибольшее распространение в лесных службах США и Канады получили карты Avenza PDF Maps, использование которых в практике тушения началось с 2012 г. (United States..., 2012; Wildland Fire's..., 2022). Они стали популярны не только потому, что компактны и удобны в переноске, но и прежде всего за имеющийся набор специальных инструментариев для создания схемы отметок, с помощью которых можно было добавлять дополнительные слои для работы, сохранять эти карты и, при необходимости, пересылать их или распечатывать (Wildland Fire's..., 2022). Ранее пожарные, выдвигаясь на пожар, брали с собой набор карт (размером  $0.3 \times 0.4$  м и более), что было не совсем удобным, так как, например, у летчиков-

наблюдателей их количество измерялось десятками и они занимали объемный портфель.

На 2023 г. для территории России доступны несколько достаточно качественных мобильных приложений с офлайн-картами местности (Яндекс Карты, 2GIS, MAPS.ME, Google Maps и др.). Однако в большинстве случаев они предназначены для эффективной навигации внутри и между населенными пунктами и содержат крайне скудную информацию об условиях и характеристиках лесных насаждений и объектах природной среды. Кроме того, в отличие от Avenza PDF Maps, в них достаточно ограниченный функционал для нанесения отметок и выполнения необходимых расчетов. При отсутствии подобного отечественного продукта в качестве полумеры возможно применение профильных приложений на мобильных устройствах, где в наличии данные для территории о рельефе (обычно с шагом изолиний в 20 м), либо могут приобретаться дополненные лесохозяйственной информацией GPS-навигаторы, содержащие слой квартальной, а в некоторых случаях – и сети выделов.

Благодаря развитию и доступности средств автомобильной навигации, появилось большое количество цифровых карт городов. Топографические карты сельской местности, как правило, данной детальной информацией не обладают и уже имеют масштаб от  $1 : 100\,000$  (100 м местности в 1 см на изображении). План лесонасаждений составляется в соответствии еще в более мелком разрешении: при 1–2 разрядах лесоустройства –  $1 : 25\,000$ , 3 разряда –  $1 : 50\,000$  (Приказ..., 2018). Однако обычно и этих масштабов вполне достаточно для организации работ по тушению, так как они содержат все необходимые сведения о барьерах на пути продвижения огня (дороги, гидросеть, редины и т. д.),

а также, наоборот, об участках, где пожар может значительно усилиться, а скорость распространения возрасти (хвойные молодняки и двухъярусные древостой, крутые склоны и т. д.). Для лесных служб США, Канады, Австралии и многих других стран (где доминируют английские меры измерений) основой для создания цифровых лесных карт является масштаб 1 : 24 000 (в 1 см 2.4 м или же 2000 футов в 1 дюйме), однако для некоторых районов разрабатываются и более подробные карты и планы (1 : 12 000 и 1 : 6000).

Цифровые карты и использование их с GNSS-маяками могли бы значительно повысить эффективность и безопасность работы пожарных подразделений в природной среде и вывести организацию борьбы с крупными пожарами на новый уровень. При функционировании этих устройств с БВС и портативными средствами отображения информации (планшеты и компьютеры с приемниками) можно не только улучшить слаженность действий групп тушения, но и существенно увеличить их безопасность.

Учитывая то, что часть данных комплексных решений уже представлены на рынке граждан-

ской продукции в России, основной вопрос будет заключаться в более широком внедрении их в организацию лесного пожаротушения, а также в достаточном объеме финансирования на закупку приборов и доработку специального программного обеспечения для потребностей лесопожарных команд.

**Организация безопасности работ при тушении лесных пожаров с помощью современных технических решений в области навигации.** Как уже было сказано выше, качественно организовать коммуникацию и оповещение сотрудников на природном пожаре можно лишь используя весь спектр новых технологий. Особенно это важно для обеспечения безопасности и эффективной работы на крупных пожарах. Именно с применением всех типов устройств оперативного мониторинга (маяки, трекеры, БВС), передачи данных (ретрансляторы, антенны, наземные станции управления), обработки, и отображения информации (смартфоны, планшеты и портативные ноутбуки), можно увеличить безопасность работ при тушении лесных пожаров даже без доступа к спутниковому или GSM-интернету (рис. 2).



**Рис. 2.** Схема организация безопасности работ при тушении лесных пожаров с помощью современных технических средств в области навигации (GNSS-трекеры, а также устройства записи, обработки и отображения данных и др.).

1 – наземные станции управления БВС: 1а – полноформатного «кейсового» исполнения, 1б – упрощенное компактное); 2 – устройства обработки, передачи и отображения информации: 2а – смартфон, 2б – планшет, 2с–2д – ресивер для усиления сигнала, 2е–2ф – радиоповторители без и с отображением информации); 3 – GNSS-маяки точного позиционирования в пространстве: 3а – индивидуальные, 3б – облегченные для БВС, 3с – для наземной техники). Схема представлена без соблюдения масштаба. НСУ – наземная станция управления.

Необходимость доступа в Интернет при борьбе с крупными пожарами возникает, когда нужно обеспечить слаженное взаимодействие между значительными силами и средствами пожаротушения и получить точные метеопрогнозы. Глобальная сеть позволяет существенно улучшить ситуацию с информированием, прежде всего за счет получения крупномасштабных космических снимков (в том числе и с теплоэнергетическими показателями), а также понимания окружающей обстановки вокруг пожаров. В технологически развитых странах (США, Канада, Австралия и некоторые государства Евросоюза), где ведется серьезная борьба с огнем в природной среде, вся новая лесопожарная техника сейчас, как правило, изначально оснащается GNSS-маяками, а некоторые машины – и доступом к спутниковому Интернету.

В России вопрос с использованием блоков GNSS-слежения обстоит двояко. С одной стороны, идет активное продвижение российской системы спутниковой навигации, с другой – соответствующее финансирование на это не выделяется. Частично это приводит к формальным решениям, которые на практике не всегда эффективны. Системой экстренного реагирования при авариях «ЭРА-ГЛОНАСС» с 1 января 2017 г. комплектовались все новые продаваемые в Российской Федерации автомобили. С 2016 г. такое требование распространялось на транспорт, предназначенный для коммерческой перевозки пассажиров, опасных грузов, твердых бытовых отходов. Федеральная целевая программа «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы» (2012) (Концепция..., 2013), которая предусматривала к 2020 г. оснащение всех автомобилей МЧС России системами спутникового позиционирования в пространстве, была реализована не полностью. С 1 сентября 2021 г. вступили в силу «Правила оснащения аппаратурой спутниковой навигации автобусов, имеющих помимо места водителя более восьми мест для сидения» (Постановление..., 2020), что требует постепенного оснащения средствами контроля большей части автотранспорта для наземной доставки пожарных.

Новая ФЦП по развитию навигационной системы ГЛОНАСС на период 2021–2030 г. направлена в первую очередь на то, чтобы максимально перейти на российскую компонентную базу, как при создании спутников, так и для приемных устройств. Также в качестве задач ставится улучшение точности и надежности работы системы позиционирования, прежде всего за

ликвидации бесшовности, учета аномалий гравитационных и магнитных полей Земли и новых технологических решений.

К сожалению, в целом для гражданских пользователей системы ГЛОНАСС с 2012 по 2023 г. точность осталась на уровне 10-летней давности: в среднем для России она поднялась крайне незначительно с 9.6 м в 2012 г. до 9.5 м в 2022 г. (при работе без помех в условиях равнины). Это значительно хуже, чем у системы GPS и GALILEO, обеспечивающей для нашей страны среднюю точность в 3.5 м. В приоритетных целях российской системы спутниковой навигации – выйти на эти показатели, даже в самых сложных условиях. Для специальных потребителей этот показатель планировалось повысить с 2.8 до 0.6 м к 2020 г., однако в связи с целым рядом сложностей эта цель сдвигается ещё на несколько лет. Тем не менее это направление хоть и медленно, но все-таки развивается (на 2023 г. только к системе «Мониторинг ЭРА» подключено более 140 тыс., а к системе «ЭРА-ГЛОНАСС» более 9 млн транспортных средств, или более 20 % всего автопарка России). Планируется, что на основе технологий ГЛОНАСС в ближайшие годы будет не только значительно повышена точность навигации, но и во всех регионах страны удастся запустить отображение информации о движении общественного транспорта в приложениях «Яндекс Карты» и 2ГИС (Российский спутник..., 2019; Балашова, Кореняко, 2023; Королев, Красников, 2023).

Во второй половине 2023 г. ожидается начало запусков спутников нового поколения «ГЛОНАСС-К2» (которое неоднократно переносилось с 2018 г.), с увеличенным сроком службы (с 7 до 10 лет), более точным позиционированием и с сигналом, способным преодолевать помехи (В 2023 году..., 2023). Руководством Роскосмоса приоритетной задачей к 2030 г. озвучено повышение определения координат с точностью до метра в абсолютном режиме, без привлечения функциональных дополнений (только с помощью спутников, без использования наземных станций). Несмотря на то что, по заявлениям разработчиков космических аппаратов, «ГЛОНАСС-К2» способны обеспечить точность навигации менее 0.3 м (Российский спутник..., 2019; Карасев, 2020; Точность..., 2021), следует понимать, что это – расчетные параметры для идеальных условий приема сигнала, в лесах и горах они будут скорее всего в среднем в 3–4 раза менее точными, даже при организа-



ции необходимой спутниковой группировки на орбите.

С учетом современной сложной геополитической обстановки в мире, наличие собственных российской систем навигации и коммуникации является крайне важным фактором. Работа зарубежных систем связи и точного позиционирования в пространстве может быть замедлена, ухудшена качественно или же вообще отключена, поэтому для успешной работы специалистов пожаротушения на удаленных территориях необходимо постоянное совершенствование не только отечественной системы навигации, но и развитие независимой системы спутниковой связи для гражданских организаций.

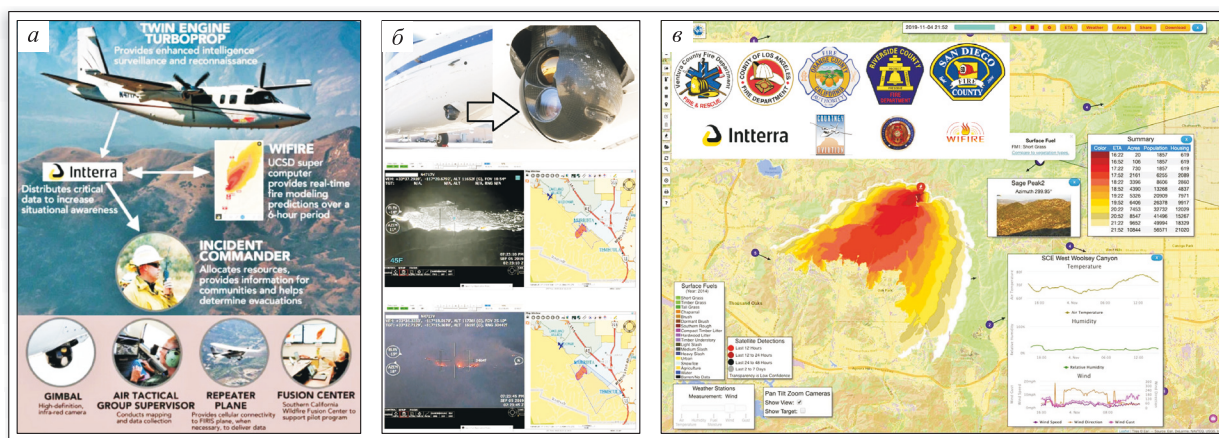
**Использование ГЛОНАСС лесопожарными формированиями России.** О своем желании обеспечить блоками GNSS-слежения всю самоходную технику руководство Рослесхоза заявило впервые в 2016 г. (Рослесхоз..., 2016). Однако на федеральном уровне речь об обеспечении подобным оборудованием в пока идет только о новой лесопожарной технике. Дооснащение уже имеющегося парка машин и механизмов могут себе позволить лишь некоторые профицитные субъекты Российской Федерации, в то время как у дотационных регионов на модернизацию автопарка пока что нет финансовых средств. Первым российским субъектом, который уже практически полностью укомплектовал все лесопожарные машины и трактора ГЛОНАСС/GPS-маяками стала Московская область, где только в 2018 г. данным оборудованием было обеспечено более 300 машин (Более 300..., 2019).

Согласно пункту 85 «Правил тушения лесных пожаров», утвержденных Приказом Минприроды России от 08.07.2014 № 313 (2014), предусмотрено, что в целях обеспечения безопасности осуществления работ по тушению лесного пожара пожарная техника и оборудование оснащаются аппаратурой спутниковой навигации ГЛОНАСС или ГЛОНАСС/GPS. Следует отметить, что в Правилах тушения отсутствуют указания о типе аппаратуры. Установки только аварийной системы «ЭРА-ГЛОНАСС» на лесопожарные машины и трактора явно недостаточно. Требуется более комплексная организация системы оценки контроля ситуации и помощи (поддержки) принятия решений, основанная на профессиональных GNSS-трекерах. К сожалению, сейчас достаточно часто происходит подмена данных понятий из-за отсутствия отечественной унифицированной терминологии. Зачастую фраза «оснащение аппаратурой спутниковой навига-

ции», может означать и упрощенную аварийную систему, основанную на GNSS-трекерах, и более детальный программно-аппаратный комплекс, обеспечивающий полноценное взаимодействие единиц техники и персонала, со сбором и обработкой всей поступающей информации. Оба варианта систем будут существенно различаться как по своему функционалу, так и стоимости реализации и обслуживания.

Наличие только лишь одной системы «ЭРА-ГЛОНАСС» не позволит выстроить всю архитектуру управления техникой на пожарах, где требуется более детальная оценка перемещения машин и механизмов, однако она будет весьма полезной дублирующей системой экстренного реагирования для повышения безопасности выполняемых работ. Указанные требования в текущих экономических условиях невыполнимы, а с учетом слишком широкого понятия «пожарное оборудование» – и явно избыточные. Видится вполне разумным изложить указанный пункт в следующей редакции: «все вновь вводимые в эксплуатацию пожарные транспортные средства оснащаются аппаратурой связи и спутниковой навигации, позволяющей диспетчерским службам отслеживать местонахождение указанных средств в реальном времени». Также целесообразно обеспечить лесных пожарных и иных лиц, осуществляющих непосредственное тушение лесных пожаров, индивидуальными пожарно-спасательными маяками, хотя говорить о законодательном закреплении такого требования пока преждевременно. При действующей материально-технической базе лесопожарных подразделений в нашей стране любое введение численных нормативов при оснащении подобными устройствами может носить только лишь рекомендательный характер.

В сентябре 2019 г. штат Калифорния в США стал первой территорией, где была запущена крупномасштабная пилотная программа интегрированной системы разведки огня в реальном времени (Fire Integrated Real-Time Intelligence System – FIRIS), рассчитанная на 150 дней и со стоимостью в 4.5 млн долл. США. До этого в разных странах были только небольшие практические работы по подобной тематике (Orange County..., 2019; FIRIS, 2023). Время проведения эксперимента было выбрано не случайно, так как именно в осенне-зимние месяцы в этом штате наступает наиболее засушливый период времени, сопровождающийся сильными ветрами (Santa Ana winds – ветра Санта-Ана с порывами до 15–20 м/с).



**Рис. 3.** Система FIRIS для разведки и моделирования пожара в реальном масштабе времени.

*a* – общая схема организации системы; *б* (сверху) – комбинированная бортовая телевизионно-оптическая камера, расположенная на самолёте; *б* (в середине) – отображение пожара в тепловом канале; *б* (снизу) – отображение пожара в оптическом канале; *в* – отображение модели развития пожара после обработки данных на суперкомпьютере в программе WIFIRE.

Для сбора сведений о пожарах использовались как спутниковые снимки, так и данные, получаемые с пилотируемых самолетов и беспилотных аппаратов (рис. 3).

Ценным нововведением системы является то, что оперативная информация с нее стала поступать не только напрямую на планшеты и смартфоны пожарных, борющихся с огнем как на земле, так и с воздуха, но и в том, что на этих же портативных устройствах она могла дополнительно отображаться и после моделирования на мощных компьютерах. Для этих целей был задействован суперкомпьютер Калифорнийского университета с самыми современными алгоритмами расчетов изменения погоды и пожаров. На основе программы WIFIRE, способной с высокой точностью прогнозировать развитие каждого пожара до 6 ч вперед и при постоянном потоке данных о погодных условиях модель может обновляться каждые 15 мин (Gabbert, 2019; The WIFIRE..., 2023). Помимо прогнозной информации о контуре каждого пожара, система в автоматическом режиме подсказывает, какое количество строений окажется на пройденной огнем территории. Все это позволяет не только лучше вести борьбу с огнем, но и заблаговременно оповещать население об угрозе в зоне пожаров, заранее организуя (при необходимости) для них безопасную эвакуацию.

Первый опыт использования этой системы в 2019 г. показали ее достаточно высокую эффективность и преимущества для оперативного и качественного принятия решений. Так, по данным официальной статистики, в Калифорнии в 2018 г. было пройдено пожарами более

750 тыс. га и зафиксировано 103 чел. погибших. Для 2017 г. аналогичные цифры составили 560 тыс. га и 47 чел. В 2019, 2020, 2021, 2022 г. при схожих погодных условиях количество погибших от огня и задымления составило 5, 33, 3 и 9 чел. соответственно (CALL FIRE, 2023).

Однако следует понимать, что переход на новый технологический уровень повышения безопасности при тушении лесных пожаров с помощью современных разработок в области навигации требует достаточно больших разовых финансовых вложений. Это не только приобретение специального оборудования, но и закупка (а иногда и разработка) профильного программного обеспечения, и обязательное обучение сотрудников. Например, в 2014 г. в США в штате Флорида покупка и установка 400 комплектов GPS-приемников и радиопередатчиков для пожарных машин и бульдозеров, а также приобретение планшетов и компьютеров (с предустановленными профильными программами) для 60 РТП обошлись в сумму около 2 млн долл. (Gabbert, 2014). Для эффективного функционирования таких систем необходимо ежегодное финансирование на повышение квалификации персонала, а также на техническую поддержку, модернизацию приборов и программного обеспечения. Кроме того, очень важна широкая административная поддержка подобных работ со стороны органов власти, государственных и частных корпораций.

В настоящее время есть и альтернативные попытки по идентификации месторасположения как работающих групп, так и отдельно каждого человека, например – при использова-

нии геолокации через системы персональной подвижной спутниковой связи (зарубежные Thuraya, Globalstar, Inmarsat, Iridium и российский «Гонец»). В России это предполагается осуществлять в рамках второго этапа системы технических средств для обеспечения функций оперативно-розыскных мероприятий (в том числе и на системах мобильной и спутниковой связи). Согласно федеральному закону «О связи» (2003) и Приказу Министерства информационных технологий и связи РФ от 16.01.2008 № 6 (2008), устройства спутниковой связи, подобно сотовым телефонам, должны будут иметь IMEI-номера и не реже, чем раз в час, передавать свои координаты IMEI (англ. International Mobile Equipment Identity – международный идентификатор мобильного оборудования) – это номер (состоит из 15 цифр в десятичном представлении), обычно уникальный, для идентификации телефонов, работающих в системах GSM, WCDMA и IDEN, а также в некоторых системах спутниковой связи.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Несмотря на то что аппараты спутниковой связи уже достаточно распространены в структурах МЧС России, ФБУ «Авиалесоохрана», региональных лесопожарных центров и даже у пожарных добровольцев, использование их в рамках организационно-технических мероприятий пока все еще проблематично. Это обусловлено как организационно, так и технологически. Организационная сложность заключается в том, что доступ к данной информации имеется только у силовых министерств, технологически – тем, что до сих пор не все производители спутниковых телефонов устанавливают модули GPS и иной навигации в каждую модель устройства. Например, ее нет во всех аппаратах Iridium (Гаврилюк, 2021), так как у них вся геолокация построена на собственной системе спутников связи. Кроме того, спутниковые телефоны до сих пор достаточно дороги (один аппарат стоит многие десятки тысяч, а иногда и более сотни тысяч рублей). Ежемесячная абонентская плата измеряется тысячами рублей. Это привело к тому, что сейчас обычно на группу пожаротушения в наличии имеется только лишь один аппарат (в лучшем случае). Передача месторасположения со спутниковых приемников каждый час предполагает, что спутниковые телефоны должны быть практически всегда включены. В таежных условиях, где зарядка аккумуляторов не всегда

оперативна или вообще возможна, это всегда создает определенные сложности.

В свете международных событий 2022–2023 г. Российской Федерации необходимо не только более интенсивно совершенствовать отечественную космическую навигацию, но и думать о широком внедрении в практику недорогой российской системы спутниковой связи для гражданского сектора. Весной 2022 г., в связи со значительным колебанием курса мировых валют, спутниковая связь значительно подорожала, а некоторые операторы и производители телекоммуникационного оборудования ушли с российского рынка (Какие технологические компании..., 2022; США..., 2022).

С нашей точки зрения ее целесообразней всего продолжать развивать на базе действующих лидеров в области предоставления услуг спутниковой связи государственным предприятиям: АО «Российская телекоммуникационная компания» (АО «РТКОММ» – магистральном операторе связи, аффилированный с национальным оператором «Ростелеком»), а также ФГУП «Космическая связь» и АО «Газпром космические системы». Для предоставления услуг фиксированной спутниковой связи РТКОММ использует емкости на зарубежных спутниках семейств JCSAT и Intelsat (несмотря на официальный уход ряда западных партнеров). Также большой интерес предоставляет развитие действующих отечественных группировок спутников «Экспресс» и «Ямал» и особенно перспективных аппаратов «Гонец-М», «Скиф» и «Марафон IoT» (Сидоркова, Кинякина, 2022). Эти и другие разработки вошли в Федеральный проект «Комплексное развитие космических информационных технологий» («Сфера»). К сожалению, как и со спутниками для наблюдения за поверхностью Земли, во многом действующие и перспективные отечественные космические аппараты связи и геолокации пока еще значительно зависят от зарубежной компонентной базы, однако государство предпринимает значительные усилия (в том числе и наращивание финансирования) для того, чтобы в максимально короткие сроки эту зависимость сократить. Связь и навигация – это во многом взаимосвязанные сферы и России нужно решать поставленные задачи максимально комплексно и оперативно.

Необходимо планомерно вести переоснащение лесопожарных подразделений всем необходимым с учетом произошедших глобальных изменений в средствах связи и навигации, чтобы сократить существующее технологическое отста-

вание России от стран – лидеров в области информатизации борьбы с пожарами в природной среде (США, Канады, Австралии и др.):

1) спектром современных устройств (от самых простых GNSS-маяков до компактных планшетов и беспилотных летательных аппаратов), позволяющих иметь объективное понимание как о параметрах пожара, так и о местоположении лесных пожарных и техники;

2) эффективно использовать потенциал российских двойных технологий в интересах экономического развития страны и ее безопасности;

3) с учетом международных интеграционных проектов в области космических навигационных систем для региональных и федеральных лесопожарных служб рекомендуется закупка аппаратуры GNSS, поддерживающей как можно больше стандартов спутниковой навигации;

4) в целях повышения безопасности мероприятий по тушению пожаров в природной среде необходимо наладить скорейшее производство индивидуальных GNSS-извещателей лесных пожарных, основанных прежде всего на отечественных разработках для огнеборцев в населенных пунктах, а также армейских приборах навигации, оповещения и СППР;

5) на основе приборов GNSS-навигации (с соответствующим обменом информации по радио и спутниковым каналам связи), а также устройств записи, обработки и отображения информации требуется создание отечественной системы информационной поддержки принятия управленческих решений для лесных пожарных, подготовленной по опыту лучших зарубежных аналогов и с максимальным учетом региональной специфики (природные условия, приборная база, доступные частоты и т. д.);

6) обеспечить качественную систему подготовки профильных специалистов полноценному пользованию средствами навигации, а также передаче и хранению геопространственной информации (внести необходимые изменения и дополнения в образовательные программы высшего, средне-специального и дополнительного образования);

7) форсировать работы по созданию российской системы спутниковой связи и доступа в интернет для гражданского сектора.

Успешная реализация данных пунктов позволит организовать эффективную систему поддержки принятия управленческих решений в области охраны лесов от пожаров и, как следствие, повысить эффективность и безопасность борьбы с огнем в российских лесах. GNSS-навигация в

настоящее время является наиболее дешевым и качественным вариантом оценки месторасположения сил и средств пожаротушения в пространстве, а обеспечение надежной спутниковой связи является неотъемлемым фактором для оперативной передачи важной информации и координации сил и средств в пространстве.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Анцышкин С. П.* Противопожарная охрана леса. М.: Гослесбуиздат, 1951. 185 с.
- Балашова А., Коренько А.* Не только SOS: как ГЛОНАСС уйдет от формата «компании монопродукта» // РБК. Технологии и медиа. 2023. 14.04.2023. [https://www.rbc.ru/interview/technology\\_and\\_media/14/04/2023/6437c1989a794765b627197f](https://www.rbc.ru/interview/technology_and_media/14/04/2023/6437c1989a794765b627197f)
- Более 300 лесопожарных машин оснастили системой ГЛОНАСС в Подмосковье в 2018 г.* // Инф. агентство «Московский день». 2019. 19.02.2019. <http://mosday.ru/news/item.php?1791802&view=ful>
- Брюханов А. В.* Современные разработки в области спутниковой навигации и практика их применения при борьбе с пожарами в природной среде // Сб. ст. по материалам Всерос. науч.-практ. конф. «Актуальные проблемы обеспечения пожарной безопасности и защиты от чрезвычайных ситуаций», Железногорск, 26 апреля 2019 г. Железногорск: Сиб. пожар.-спас. акад. гос. противопожарной службы Мин-ва РФ по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации стихийных бедствий, 2019. С. 34–40.
- В 2023 году Россия запустит три спутника ГЛОНАСС нового поколения* // РИА-Новости. 2023. 14.01.2023. <https://ria.ru/20230114/glonass-1844786128.html>
- Главацкий Г. Д., Груманс В. М., Королев Г. М.* Тушение крупных лесных пожаров с использованием средств навигации системы глобального позиционирования // Лесн. вестн. 2002. № 2. С. 45–53.
- Гаврилюк А.* Арктика теряет связь с космосом // Коммерсантъ. 2021. № 127. 22.07.2021. С. 7.
- Какие технологические компании прекратили или ограничили работу в России. Полный список* // Интернет-издание COMSS.ONE, 2022. 08.03.2022. <https://www.comss.ru/page.php?id=10249>
- Карасёв С.* ГЛОНАСС не достигла планируемой точности, но это не критично // Новости 3DNews. 2020. 13.11.2020. <https://3dnews.ru/1025342/glonass-ne-dostigla-planirovemoy-tochnosti-no-eto-ne-kritichno?from=related-grid&from-source=1030556>
- Концепция развития системы связи и информационно-телекоммуникационных технологий МЧС России на период до 2015 года.* М.: Мин-во Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, 2013. 64 с.
- Королев Н., Красников В.* Заправлены в системы космические траты // Коммерсантъ. 2023. № 37. 03.03.2023. С. 1.
- Краткая справка ФБУ «Центральная база авиационной охраны лесов «Авиалесоохрана»: профессионализм, оперативность, эффективный результат.* Пушкино, 2014. <https://aviales.ru/default.aspx?textpage=176>

- Курбатский Н. П. Техника и тактика тушения лесных пожаров. М.: Гослесбумиздат, 1962. 154 с.
- Мелехов И. С. Лесные пожары и борьба с ними. 3-е изд., доп. Архангельск: Сев. краевое изд-во, 1935. 184 с.
- Постановление Правительства Российской Федерации от 28.05.2007 № 326 «О порядке получения, использования и предоставления геопространственной информации». М.: Правительство РФ, 2007.
- Постановление Правительства Российской Федерации от 22.12.2020 № 2216 «Об утверждении Правил оснащения транспортных средств категорий М2, М3 и транспортных средств категории N, используемых для перевозки опасных грузов, аппаратурой спутниковой навигации». М.: Правительство РФ, 2020.
- Приказ Министерства информационных технологий и связи Российской Федерации от 16.01.2008 № 6 «Об утверждении требований к сетям электросвязи для проведения оперативно-розыскных мероприятий. Ч. I. Общие требования». М.: Мин-во информ. технол. и связи РФ, 2008.
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 08.07.2014 № 313 «Об утверждении Правил тушения лесных пожаров». М.: Минприроды РФ, 2014.
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 29.03.2018 № 122 «Об утверждении Лесоустроительной инструкции». М.: Минприроды РФ, 2018.
- Приказ Федерального агентства по промышленности от 17.07.2007 № 302 «О получении, использовании и предоставлении геопространственной информации». М.: Фед. агент-во по пром-сти, 2007.
- Рослесхоз: Вся технику для тушения лесных пожаров оборудуют системой ГЛОНАСС // Агентство городских новостей «Москва». 2016. 19.12.2016. <https://www.mskagency.ru/materials/2619487>
- Российский спутник «Глонасс-K2» не будет уступать по возможностям GPS III // Вестн. ГЛОНАСС. 2019. 11.01.2019. <http://vestnik-glonass.ru/news/tech/rossiyskiy-sputnik-glonassk2-ne-budet-ustupat-po-vozmozhnostyam-gps-iii/>
- Серебряников П. П., Матренинский В. В. Лесные пожары и борьба с ними. М.: Гослестехиздат, 1937. 184 с.
- Сидоркова И., Кинякина Е. Правительство увеличило финансирование проекта «Сфера» и сократило расходы на «ГЛОНАСС» // Ведомости. 2022. 29.09.2022. <https://www.vedomosti.ru/technology/articles/2022/09/29/943022-pravitelstvo-uvelichilo-finansirovanie-proekta-sfera>
- Стрелец-Часовой // Эл. журн. [tadviser.ru](http://www.tadviser.ru), 2017. <http://www.tadviser.ru/index.php/Продукт:Стрелец-Часовой>
- США отключили в России мобильную спутниковую связь Globalstar // Интернет-издание IXBT, 11.03.2022. <https://www.ixbt.com/news/2022/03/11/ssha-otkluchili-v-rossii-mobilnuju-sputnikovuju-svjaz-globalstar.html>
- Точность системы ГЛОНАСС планируется улучшить до 10 см после 2030 года // Вестн. ГЛОНАСС. 2021. 08.06.2021. <http://vestnik-glonass.ru/news/tech/tochnost-sistemy-glonass-planiruetsya-uluchshit-do-10-sm-posle-2030-goda/>
- Федеральная целевая программа «Поддержание, развитие и использование системы ГЛОНАСС на 2012–2020 годы». Утв. Пост. Правительства РФ от 03.03.2012 № 189. М.: Правительство РФ, 2012. 4 с.
- Федеральный закон «О связи» от 07.07.2003 № 126-ФЗ (последняя редакция). [https://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_43224/](https://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_43224/)
- CALL FIRE 2023. The Department of Forestry and Fire Protection serves and safeguards the people and protects the property and resources of California, 2023. <https://www.fire.ca.gov/>
- FIRIS-Fire Integrated Real-Time Intelligence System, 2023. <https://intterra.helpdocs.com/client-specific/firis2>
- Forrest W. J. Thesis on Radio in the Forest Service. Oregon: St. College School For., 1937. 36 p.
- Gabbert Bill M. W. Florida Forest Service tracks the location of firefighters // Wildfire today. 2014. 15.01.2014. <https://wildfiretoday.com/2014/01/15/florida-forest-service-tracks-the-location-of-firefighters/>
- Gabbert Bill M. W. New real time mapping system used on Cave Fire // Wildfire today. 2019. 27.11.2019. <https://wildfiretoday.com/2019/11/27/new-real-time-mapping-system-used-on-cave-fire/>
- Grace Firefighter Safety Product line. 2023. <https://www.gracefirefighter.com>
- Mangan D. GPS Use in Wildland Fire Management // Fire Tech Tips. USDA For. Serv., Technol. & Develop. Program. Missula, 1994. 6 p.
- Markland D. High speed in-vehicle networks for fire apparatus // Int. Fire Fighter Magazine 14.09.2016. <https://iffmag.mdmpublishing.com/high-speed-in-vehicle-networks-for-fire-apparatus/>
- O'Brien M., Kellan A. New sensor system tracks firefighters where GPS fails. Nat. Sci. Found., 2011. <https://phys.org/news/2011-12-sensor-tracks-firefighters-gps.html>
- Orange County begins trial of real time mapping technology // Fireaviation.com News. 2019. 24.09.2019. <https://fireaviation.com/2019/09/24/orange-county-begins-trial-of-real-time-mapping-technology/>
- The WIFIRE Lab develops integrated systems for natural hazards monitoring, simulation, and response. 2023. <https://wifire.ucsd.edu/about>
- United States Forest Service Uses Avenza Maps App to Reduce Critical Time Delays and Decrease Response Time During Natural Disasters, 2012. <https://www.avenzamaps.com/commercial-usage/us-forest-service.html>
- Wildland fire's air tactical team utilizes Avenza maps to reduce critical time delays and improve response time, 2022. <https://www.avenzamaps.com/commercial-usage/arizona-state-forestry.html>
- WindNinja Product, 2023. <https://www.firelab.org/project/windninja>
- WindWizard Product, 2023. <https://www.firelab.org/project/windwizard>
- Woodfill D. S. GPS tracking remains only an idea, but prototypes in works // News. 2014. 24.06.2014. <https://www.azcentral.com/story/news/arizona/2014/06/24/yarnell-hill-fire-gps-tracking/11339637/>

## **DEVELOPMENT OF NAVIGATION AIDS AND DECISION SUPPORT SYSTEMS IN FOREST FIREFIGHTING**

**A. V. Bryukhanov, R. V. Kotelnikov**

*The Center of 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  
Krupskaya str., 42, Krasnoyarsk, 660062 Russian Federation*

---

E-mail: flamespot@mail.ru, kotelnikovrv@firescience.ru

*Received 17.06.2022*

An analytical review of satellite navigation systems, devices for receiving and processing spatial information, in the context of their use in monitoring and extinguishing fires in the natural environment, is presented. Satellite navigation systems are considered both in terms of user devices and their global organization. Promising Russian and foreign developments in the field of satellite navigation and information transmission are discussed, which can significantly increase the efficiency of fire extinguishing and the safety of fighting fire in the natural environment. The most optimal option for controlling the forces and means of fire extinguishing has been determined, which provides for the construction of a system that combines the possibilities of using both radio and satellite communication channels. This approach will significantly improve the safety of monitoring and fighting wildfires, as well as organizing a modern reliable and independent decision support system, thereby significantly improving the quality and economic efficiency of forest fire fighting. The necessary changes are proposed that are appropriate to overcome the existing technological gap between Russia and the leading countries in the field of informatization of fighting fires in the natural environment.

**Keywords:** *satellite navigation, tracker, forest fires, firefighter safety, safety bacon, decision support system.*

**How to cite:** *Bryukhanov A. V., Kotelnikov R. V. Development of navigation aids and decision support systems in forest firefighting // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 128–140 (in Russian with English abstract and references).*

УДК 630\*432 (476)

## ОХРАНА ЛЕСОВ ОТ ПОЖАРОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ: СОСТОЯНИЕ И ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

**В. В. Усеня**

*Институт леса НАН Беларуси*

*Республика Беларусь, 246050, Гомель, ул. Пролетарская, 71*

E-mail: usenyaforinst@gmail.com

*Поступила в редакцию 05.10.2023 г.*

Леса на территории Республики Беларусь относятся к потенциально пожароопасным. Организацию работ по охране лесов от пожаров на республиканском и территориальном уровнях осуществляют Министерство лесного хозяйства, его соответствующие структурные подразделения, юридические лица, ведущие лесное хозяйство, а также подразделения по чрезвычайным ситуациям (авиационная охрана лесов) Министерства по чрезвычайным ситуациям. В лесном фонде в 1959–2022 гг. возникло 139.7 тыс. пожаров на общей площади 222.9 тыс. га. Анализ многолетних статистических данных показал, что основной причиной возникновения лесных пожаров является антропогенный фактор. Приведены способы и средства прогнозирования и мониторинга лесных пожаров, регламентация работы лесопожарных служб. На территории страны функционирует многоуровневая система мониторинга лесных пожаров с использованием наземного, авиационного и аэрокосмического способов, что обеспечивает оперативность их обнаружения. Изложены сведения о противопожарном обустройстве лесного фонда. В соответствии с лесопожарным районированием территория страны разделена на три лесопожарные пояса, что позволяет объективно планировать трудовые и финансовые ресурсы на противопожарное обустройство лесного фонда. Основными подразделениями лесопожарных служб являются пожарно-химические станции различных типов, а также пункты сосредоточения пожарного инвентаря. Для борьбы с лесными пожарами используются авиационная техника, пожарные автомобили, вездеходы, емкости для доставки воды, мотопомпы различной производительности, лесопожарные модули, ранцевые огнетушители различных модификаций, огнезащитные химические составы и другая специализированная техника и оборудование. Учет лесных пожаров осуществляют юридические лица, ведущие лесное хозяйство, и их вышестоящие органы на основе актов о лесном пожаре, а государственный учет – Национальный статистический комитет. Изложены пути совершенствования охраны лесов от пожаров, обеспечивающие минимизацию их площади и причиненного ущерба.

**Ключевые слова:** *лесной фонд, охрана, пожары, динамика, причины, противопожарное обустройство, мониторинг, ликвидация, учет.*

DOI: 10.15372/SJFS20230614

### ВВЕДЕНИЕ

В Республике Беларусь леса относятся к одним из основных природных ресурсов и важнейших национальных богатств и имеют важное экономическое, природоохранное и социальное значение.

Общая площадь земель лесного фонда, в соответствии с государственным учетом лесов по состоянию на 01.01.2023 г. составила 9.72 млн га. Лесистость территории страны – 40.1 %. Лесные земли занимают 91.9 %, среди

них покрытые лесом – 85.8 %, нелесные – 8.1 %. В породном составе лесов преобладают пожароопасные насаждения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) – 48.6 % и ели европейской (*Picea abies* (L.) Karst) – 9.1 % (Государственный лесной кадастр..., 2023).

Лесные пожары относятся к одним из наиболее значимых природных факторов, оказывающих негативное воздействие на продуктивность и состояние лесных экосистем. Последствиями пожаров являются повреждение и гибель лесов, снижение их экологических, социальных функ-

ций и качественного состава, трансформация лесных ландшафтов.

В силу своего породного, возрастного, структурного состава и сильного антропогенного воздействия лесные насаждения характеризуются высоким классом пожарной опасности. К настоящему времени после катастрофы на Чернобыльской АЭС остается радиоактивно загрязненной 15,5 % площади лесного фонда. На загрязненных радионуклидами лесных землях вследствие ограничения или прекращения хозяйственной деятельности происходит активный процесс накопления горючих материалов, что еще более увеличивает их пожарную опасность и требует проведения специфической системы эффективных мероприятий по охране от пожаров (Усень, 2002).

Сохранение, восстановление и рациональное использование лесов – необходимое условие экологической безопасности и устойчивого социально-экономического развития страны.

Профилактика, оперативное обнаружение и ликвидация лесных пожаров и их последствий – важнейшие составные части мероприятий по сохранению природного комплекса Республики Беларусь, обеспечивающие устойчивость лесных экосистем и сохранение биологического разнообразия, что обуславливает высокое внимание к охране лесов от пожаров.

#### **Организация охраны лесов от пожаров.**

В соответствии с «Лесным кодексом Республики Беларусь» (2015), единую государственную политику в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов определяет Президент Республики Беларусь, обеспечивает ее реализацию Правительство – Совет Министров Республики Беларусь, а осуществляют Министерство лесного хозяйства – республиканский орган государственного управления по лесному хозяйству, местные исполнительные и распорядительные органы, другие государственные органы в пределах их полномочий согласно законодательству. Функции и задачи Министерства лесного хозяйства закреплены в «Лесном кодексе Республики Беларусь» (2015) и «Положении о Министерстве лесного хозяйства Республики Беларусь» (Постановление..., 1993). Существующая система управления лесным хозяйством основана на государственной собственности на леса с организацией государственного лесного хозяйства и структурно адаптирована к административно-территориальному делению страны. Охрана лесов от пожаров осуществляется с учетом их экономических, экологических и социаль-

ных функций путем применения комплексной системы организационных, профилактических мероприятий, мероприятий по ликвидации лесных пожаров, выполняемых юридическими лицами, ведущими лесное хозяйство, под методическим руководством, контролем и при непосредственном участии специализированных служб, создаваемых Министерством лесного хозяйства на республиканском и территориальном уровнях, с привлечением государственной лесной охраны в пределах ее полномочий, определенных Президентом Республики Беларусь. Положения, правила, инструкции и указания государственных органов в части охраны лесов от пожаров обязательны для всех ведомств, государственных, кооперативных, общественных предприятий, организаций, учреждений и граждан.

Охрана лесного фонда от пожаров в соответствии с Лесным кодексом является обязанностью юридических лиц, ведущих лесное хозяйство. Организацию и ведение работ по охране лесов на республиканском и территориальном уровнях осуществляют специально уполномоченный республиканский орган государственного управления в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов, его соответствующие структурные подразделения, а также юридические лица, ведущие лесное хозяйство.

Государственный контроль охраны лесного фонда осуществляют Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды, Государственная инспекция охраны животного и растительного мира при Президенте Республики Беларусь и их территориальные органы, а также иные государственные органы в соответствии с нормативными и правовыми актами.

Объем проводимых мероприятий по охране лесов от пожаров определяется Проектом организации и ведения лесного хозяйства юридического лица, ведущего лесное хозяйство, на ревизионный период, составленным при лесоустройстве с учетом лесопожарного районирования территории лесного фонда, класса пожарной опасности лесных участков, класса пожарной опасности лесов по условиям погоды и требованиями законодательных и технических нормативных правовых актов.

В настоящее время функционирует следующая организационная структура управления охраны лесов от пожаров (рис. 1). Охрану лесов от пожаров также выполняют подразделения по чрезвычайным ситуациям (авиационная охрана лесов) и (или) государственные организации, подчиненные Министерству по чрезвычайным



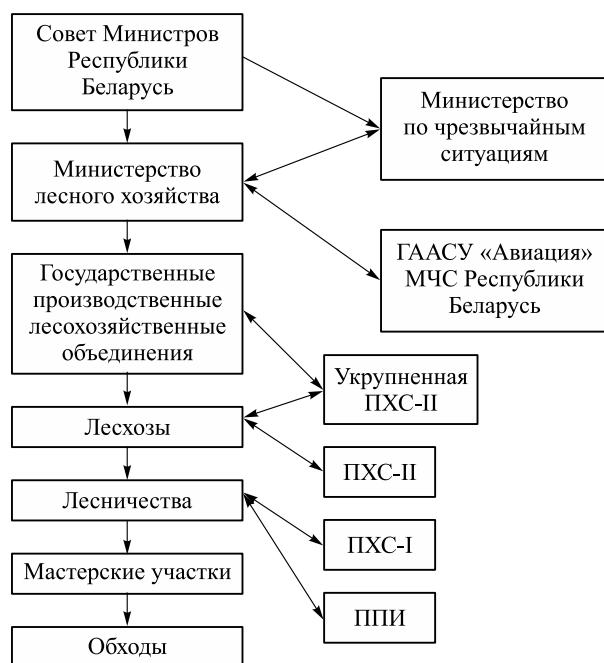


Рис. 1. Организационная структура управления охраной лесов от пожаров в Республике Беларусь.

ПХС – пожарно-химическая станция, ППИ – пункт сосредоточения противопожарного инвентаря.

ситуациям, в пределах их компетенций и иные уполномоченные государственные органы (организации). Авиационная охрана лесов организована для оперативного обнаружения лесных пожаров и их тушения и осуществляется подразделениями по чрезвычайным ситуациям и (или) государственными организациями, подчиненные республиканскому органу государственного управления в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций, в пределах их компетенции.

Порядок осуществления авиационной охраны лесов устанавливается Советом Министров. Зона авиационной охраны лесного фонда определяется Министерством лесного хозяйства, которое ежегодно до 1 мая устанавливает зону авиационной охраны лесов на будущий год, границы охраняемых площадей, подчиненных ему государственных производственных лесохозяйственных учреждений и других юридических лиц, ведущих лесное хозяйство.

Для обеспечения охраны и защиты лесов, осуществления контроля в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в порядке, определяемом Президентом Республики Беларусь, создана государственная лесная охрана (ГЛО).

Задачи, обязанности и полномочия ГЛО регламентируются «Лесным кодексом Респуб-

лики Беларусь» (2015) и «Положением о государственной лесной охране» (Указ..., 2007). Привлечение должностных лиц, на которых возлагаются функции ГЛО, к работам, не связанным с охраной и защитой лесов, запрещается.

**Динамика лесных пожаров и причины возникновения.** Основным критерием для оценки уровня охраны лесов от пожаров и эффективности противопожарного обустройства лесного фонда являются динамика пожаров, причины возникновения и горимость лесов.

Динамика и масштабы лесных пожаров зависят от комплекса природных и антропогенных факторов, из которых основные – пирологическая характеристика лесного фонда, погодные условия в течение пожароопасного сезона, степень антропогенной нагрузки территории конкретного региона, а также оперативность обнаружения и ликвидации пожаров, обусловленная технической оснащённостью служб их мониторинга и ликвидации.

На территории лесного фонда Республики Беларусь на протяжении 1959–2022 гг. возникло 139,7 тыс. пожаров на общей площади 222,9 тыс. га (рис. 2).

Начиная с 2022 г. Национальным статистическим комитетом при статистическом учете в число случаев лесных пожаров включены и загорания в лесном фонде (*возникновение в лесном фонде локального горения и (или) тления горючей среды под воздействием источника зажигания на площади менее 0,1 га*).

Средняя площадь одного пожара – показатель оперативности его обнаружения и ликвидации – составила 1,60 га при минимуме 0,16 га и максимуме 13,91 га. Минимальное число лесных пожаров произошло в 2017 г. Экстремально засушливым годом стал 1992 г., когда на территории страны сложилась чрезвычайная лесопожарная ситуация и зарегистрирован 8121 случай возникновения лесных пожаров, а пройденная ими площадь составила свыше 25,6 тыс. га.

В течение 2018–2022 гг. наибольший удельный вес в пройденной пожарами площади составляли низовые пожары (87,2 %), минимальный – почвенные (1,5 %), долевое участие верховых пожаров – 11,3 %. На протяжении последнего десятилетия максимум по количеству возникновения пожаров и пройденной ими площади наблюдается 2–3 раза. Аналогичная закономерность отмечена и в предыдущие десятилетия.

Продолжительность пожароопасного сезона на территории лесного фонда в связи с измене-

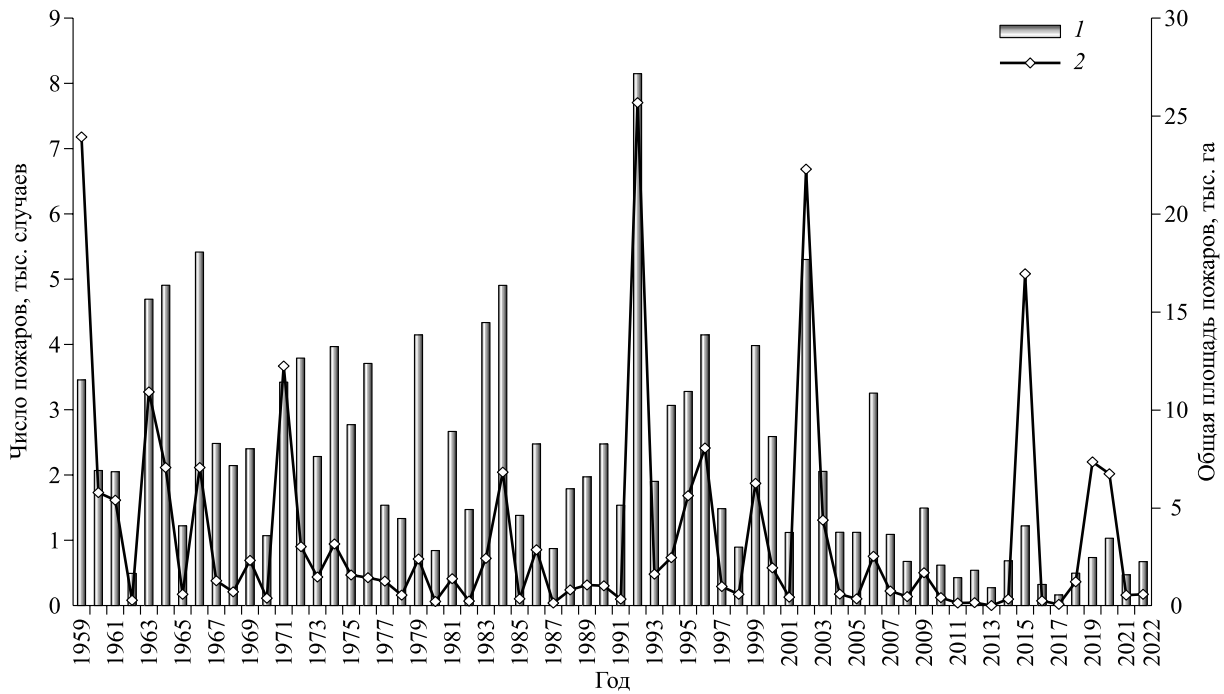


Рис. 2. Число пожаров (1) и их общая площадь (2) в лесном фонде Республики Беларусь в 1959–2022 гг.

нием климата увеличилась и, в зависимости от погодных условий, составила 172–261 дня (см. таблицу).

Пожарный максимум в лесах в течение пожароопасного сезона отмечается в период с апреля по август, на протяжении которого наблюдается наибольшее количество случаев лесных пожаров (73.5–88.6 % от их общего количества) (рис. 3).

Информация о причинах лесных пожаров чрезвычайно важна для проектирования и реализации соответствующих профилактических мероприятий по предотвращению и минимизации причиняемого пироженным фактором экономического и экологического ущерба.

Сезонная динамика возникновения лесных пожаров на территории Республики Беларусь в 2018–2022 гг.

Область	Дата пожара		Продолжительность пожароопасного сезона, дней
	первого	последнего	
Брестская	09.03	24.11	261
Витебская	22.03	09.09	172
Гомельская	10.03	01.11	237
Гродненская	14.03	21.11	253
Минская	17.03	29.10	227
Могилевская	18.03	25.09	192
Минимум	09.03	09.09	172
Максимум	22.03	24.11	261

В Республике Беларусь в течение последних десятилетий формами государственной статистической отчетности устанавливалась различная классификация причин возникновения лесных пожаров. Так, в период 1975–1997 гг. определены установленные причины возникновения пожаров (по вине населения, сельскохозяйственные палы) и не установленные. На протяжении 1998–2016 гг. была создана следующая классификация причин возникновения лесных пожаров: от сельскохозяйственных палов; от грозовых разрядов; по вине лесозаготовителей, экспедиций и других организаций; по вине населения; по не установленным причинам, с 2017 г. она обновилась: от естественных источников возгорания, вызванных природным фактором: грозовые разряды, самовозгорание торфа и другие; от антропогенного фактора: умышленный

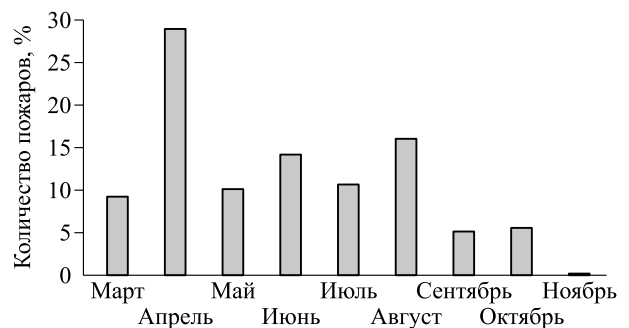
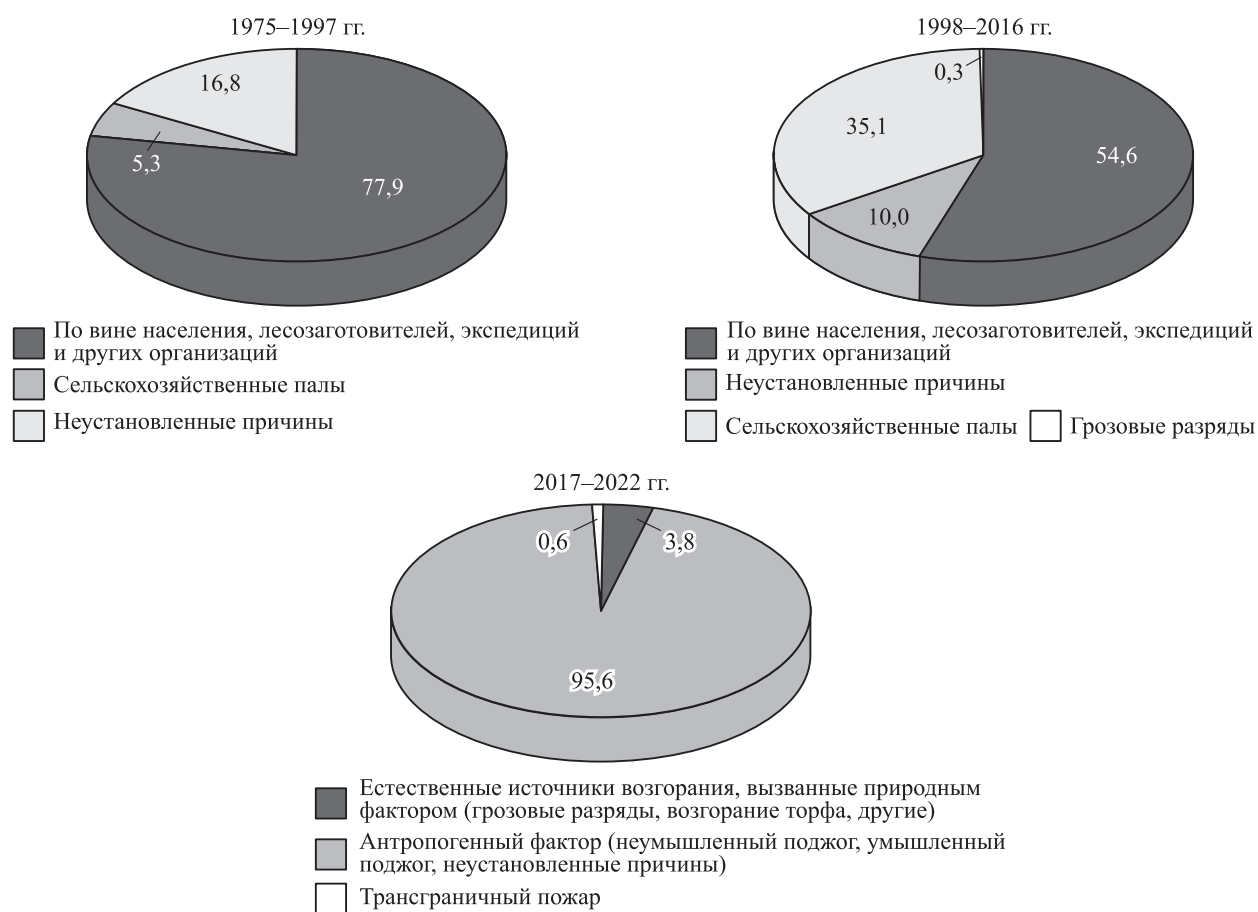


Рис. 3. Количество лесных пожаров по месяцам пожароопасного сезона.



**Рис. 4.** Причины возникновения лесных пожаров на территории лесного фонда Республики Беларусь в 1975–2022 гг., %.

поджог, неумышленный поджог (сельскохозяйственный пал, разведение костра, курение, отсутствие искрогасителя у машин и механизмов, неустановленные причины), трансграничный пожар.

Распределение лесных пожаров по причинам их возникновения в лесном фонде в 1975–2022 гг. приведено на рис. 4.

На территории страны на протяжении 1975–2022 гг. преобладающее количество случаев лесных пожаров произошло от антропогенного фактора. Сельскохозяйственные палы на различных категориях земель, примыкающих к границам лесного фонда, в отдельные годы стали причиной значительного количества случаев возникновения лесных пожаров, что требует принятия необходимых мер по устранению данного источника возгорания.

Следует также отметить, что на протяжении последнего десятилетия увеличивается количество случаев возникновения лесных пожаров по неустановленным причинам. В отдельные годы до 4 % случаев возникновения лесных пожаров обусловлено естественными источниками воз-

горания – грозowymi разрядами. На протяжении последних лет причиной возникновения лесных пожаров стали трансграничные пожары, их долевое участие в 2018–2022 гг. составило 0,4–1,0 % от общего количества пожаров.

**Прогнозирование и мониторинг лесных пожаров, регламентация работы лесопожарных служб.** В настоящее время на территории Республики Беларусь прогнозирование и мониторинг лесных пожаров осуществляются в соответствии с государственным стандартом «Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Прогнозирование и мониторинг лесных пожаров. Общие требования: СТБ 1408–2003» (2003). В качестве основы для прогнозирования пожарной опасности лесов по условиям погоды государственным учреждением «Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения и мониторингу окружающей среды» (Белгидромет) используется разработанная Н. А. Диченковым (1978) шкала загораемости лесов. Степень пожарной опасности в лесу по условиям погоды оценивается комплексным показателем, который вычисляется

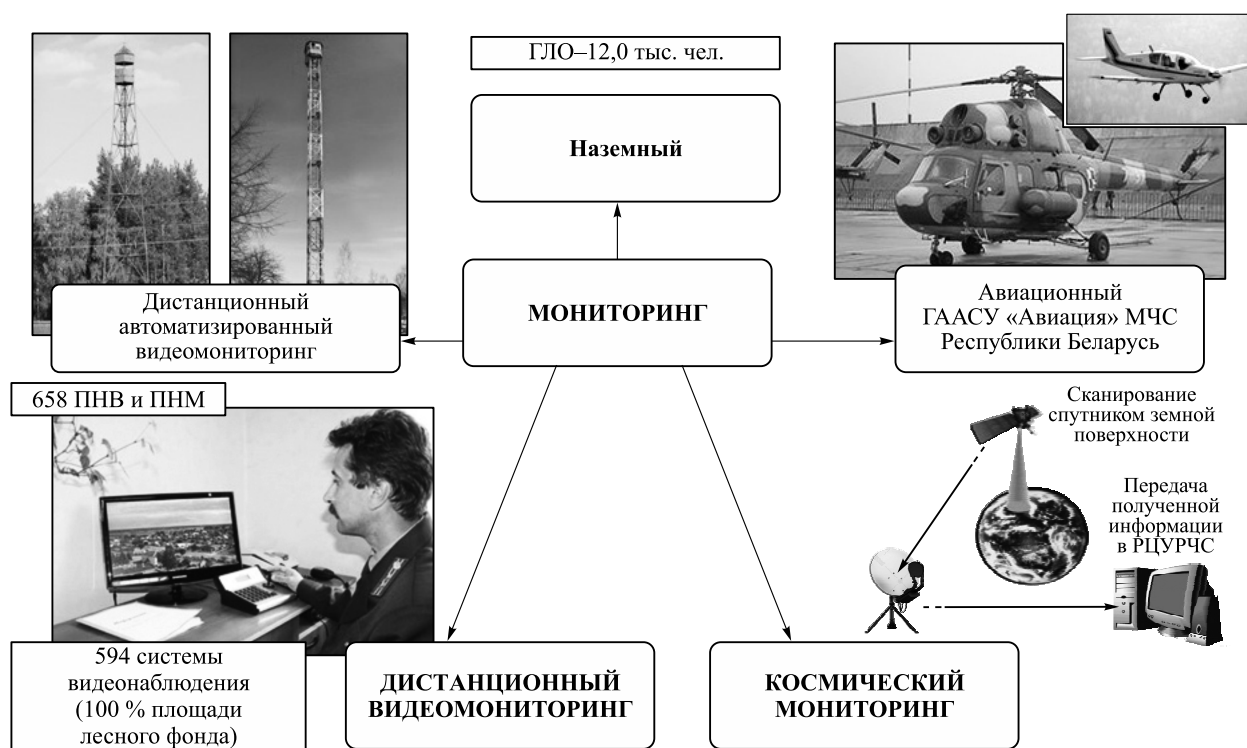


Рис. 5. Система мониторинга лесных пожаров на территории Республики Беларусь.

ПНВ – пожарные наблюдательные вышки; ПНМ – пожарные наблюдательные мачты.

ется на основе данных о температуре воздуха, температуре точки росы, количестве сухих дней, влияющих на изменение влажности лесных горючих материалов (Специфические требования..., 2019).

Определение класса пожарной опасности (возгораемости) лесов по условиям погоды для юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, выполняется Белгидрометом на основании получения необходимых данных со всех метеостанций страны. Ежедневная информация за последние сутки и краткосрочный (до 3 дней) прогноз возгораемости лесов по административным областям и районам в виде изолиний, в том числе различной окраски по классам пожарной опасности лесов по условиям погоды, наносится на синоптические карты и передается юридическим лицам, ведущим лесное хозяйство. Достоверная и оперативная информация о пожарной опасности лесов по условиям погоды дает возможность юридическим лицам, ведущим лесное хозяйство, регламентировать работу служб охраны лесов от пожаров, своевременно сосредоточить силы и средства пожаротушения в местах с повышенной опасностью возникновения и распространения пожаров, повысить эффективность мероприятий по охране лесов от пожаров.

В настоящее время на территории Беларуси функционирует многоуровневая система мониторинга лесных пожаров с использованием наземного, дистанционного, авиационного и аэрокосмического способов, что обеспечивает оперативность их обнаружения (рис. 5).

Наземное обнаружение лесных пожаров осуществляется службой государственной лесной охраны (12 тыс. чел.). В лесном фонде юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, до начала пожароопасного сезона составляется план патрулирования по маршрутам с учетом класса пожарной опасности лесов, класса пожарной опасности лесов по условиям погоды, периода пожароопасного сезона и посещаемости лесов населением.

При проведении наземного патрулирования служба ГЛЮ имеет средства связи для своевременного предупреждения лесхозов (лесничеств) об обнаруженных очагах возникновения лесного пожара и обеспечения своевременной их ликвидации. В настоящее время в лесохозяйственных учреждениях в качестве связи используется цифровая радиосвязь (портативные и мобильные радиостанции), широкое применение получили мобильные телефоны.

Основным методом обнаружения лесных пожаров является дистанционный видеомони-

торинг, в том числе автоматизированный. Средства видеонаблюдения расположены на ведомственных пожарно-наблюдательных вышках и мачтах, что обеспечивает возможность выполнять мониторинг пожаров на всей площади лесного фонда. Методом дистанционного видеомониторинга ежегодно обнаруживается 55–60 % случаев возникновения лесных пожаров, в том числе 30 % с помощью автоматизированных систем видеонаблюдения, которые осуществляют наблюдение в автоматическом режиме на 78 % площади лесного фонда.

Авиационная охрана лесов является составной частью общего комплекса мероприятий по охране лесов от пожаров и выполняется на всей территории лесного фонда. Она организована для оперативного обнаружения лесных пожаров и их тушения и осуществляется подразделениями по чрезвычайным ситуациям и (или) государственными организациями, подчиненными Министерству по чрезвычайным ситуациям в пределах их компетенции. Порядок осуществления авиационной охраны лесов устанавливается Советом Министров, а зона авиационной охраны определяется Министерством лесного хозяйства, которое ежегодно до 1 мая определяет зону авиационной охраны лесов на будущий год и границы охраняемых площадей, подчиненных ему государственных производственных лесохозяйственных учреждений и других юридических лиц, ведущих лесное хозяйство.

Авиационная охрана лесов осуществляется государственным авиационным аварийно-спасательным учреждением «Авиация» Министерства по чрезвычайным ситуациям (ГААСУ «Авиация»), которое входит в систему органов и подразделений по чрезвычайным ситуациям, является подразделением по чрезвычайным ситуациям и имеет в своей структуре Центр авиационной охраны лесов. ГААСУ «Авиация» имеет вертолеты Eurocopter AS 355, МИ-2, МИ-8, МИ-26, самолеты АН-2, беспилотные авиационные комплексы, которые позволяют выполнять в полном объеме возложенные на учреждение задачи по авиационной охране лесов от пожаров. Основной задачей ГААСУ «Авиация» по охране лесов от пожаров является своевременное обнаружение и обеспечение ликвидации возникающих лесных пожаров на территории лесного фонда. Центр авиационной охраны лесов имеет десантно-пожарную службу для локализации и ликвидации обнаруженных пожаров. На ГААСУ «Авиация» возлагается также выполнение задач по осуществлению контроля правил по-

жарной безопасности в лесах и оказание помощи лесхозам в выполнении профилактических противопожарных мероприятий. Авиационным отделением устанавливаются патрульные маршруты для одно-, двух и трехкратного патрулирования, соответственно для малой, средней и высокой пожарной опасности лесов по условиям погоды.

В зависимости от заданного уровня охраны лесов и числа пожаров, возникающих на обслуживаемой авиационным отделением территории, определяется численность авиационных пожарных команд для своевременного тушения пожаров, а также типы воздушных судов, которые должны обеспечивать доставку команд к местам пожаров. Режим авиатрулирования осуществляется в соответствии с действующими регламентациями, а маршруты, обеспечивающие полный осмотр обслуживаемой территории, определяются Схемой авиатрулирования лесов Республики Беларусь.

К настоящему времени создана и совершенствуется автоматизированная система инструментальных и технических средств для сбора, обработки и анализа информации космического и наземного мониторинга лесных пожаров с целью повышения точности определения их координат, сокращения времени обработки результатов дистанционного зондирования Земли и нанесения оперативной обстановки на карту, что позволяет повысить своевременность обнаружения пожаров, в том числе в труднодоступных районах (одним из таких районов является зона радиоактивного загрязнения в результате аварии на ЧАЭС). Полученная информация по каналам связи передается в Министерство по чрезвычайным ситуациям для принятия соответствующих решений.

Функционирующая на территории страны многоуровневая система обнаружения лесных пожаров позволяет оперативно обнаруживать очаги возгорания. На протяжении последнего десятилетия 80 % случаев пожаров к моменту их обнаружения имели площадь до 0,10 га.

Работа юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, регламентируется в зависимости от класса пожарной опасности лесов по условиям погоды. Начало и окончание пожароопасного сезона в зависимости от погодных-климатических условий и пожарной опасности лесного фонда устанавливаются приказами юридических лиц, ведущих лесное хозяйство. Регламентация работы лесопожарных служб определяется классом пожарной опасности лесов по условиям погоды

и осуществляется в соответствии со Специфическими требованиями по обеспечению пожарной безопасности в лесах (2019) и годовыми оперативными планами тушения лесных пожаров на пожароопасный сезон.

**Профилактика лесных пожаров и борьба с ними.** Одним из важнейших звеньев охраны лесов от пожаров является их профилактика, осуществляемая путем проведения комплекса мероприятий, направленных на предотвращение возникновения и (или) распространения лесных пожаров, ограничение и минимизацию их отрицательного воздействия.

Объем профилактических мероприятий по охране лесов от пожаров определяется Проектом организации и ведения лесного хозяйства юридического лица, ведущего лесное хозяйство, составленным при лесоустройстве, классом пожарной опасности лесных участков и требованиями технических нормативных правовых актов.

Для определения региональной потенциальной пожарной опасности возникновения и распространения лесных пожаров Институтом леса НАН Беларуси выполнено лесопожарное районирование (*разделение территории лесного фонда на однородные в лесопожарном отношении районы (пояса) для разработки оптимальной системы противопожарных мероприятий*) территории Беларуси, которое является основой противопожарного обустройства лесного фонда (Усень и др., 2011).

В основу лесопожарного районирования положен региональный комплексный показатель (П) потенциальной опасности возникновения и распространения лесных пожаров, включающий следующие факторы: класс пожарной опасности лесов (К), лесистость региона (Л), горимость лесов (Г), плотность населения региона (Н), степень радиоактивного загрязнения территории (Т), с учетом коэффициента их значимости:

$$П = 0,4 \times К + 0,4 \times Л + 0,1 \times Г + 0,1 \times Н + Т$$

Территория Беларуси разделена на три лесопожарных пояса по целому комплексу природно-климатических, почвенно-гидрологических, лесопирологических, эколого-экономических, организационно-хозяйственных, антропогенных и ряду других факторов, которые в своей совокупности определяют необходимость проведения в лесном фонде однотипных видов и объемов противопожарных мероприятий с одинаковыми затратами сил и средств на их реализацию (рис. 6).

Распределение территории лесного фонда на три лесопожарных пояса на основе регионального комплексного показателя потенциальной пожарной опасности позволяет сопоставлять различные территориальные единицы региона по потенциальной пожарной опасности лесов в разрезе юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, что позволяет ежегодно объективно планировать и распределять трудовые и финансовые ресурсы на охрану лесов от пожаров.

В организации охраны лесов от пожаров одним из важнейших звеньев является противопожарное обустройство территории лесного фонда, включающее в себя целый комплекс организационно-хозяйственных и профилактических противопожарных мероприятий по предупреждению возникновения и ограничению распространения пожаров, оперативному обнаружению и ликвидации очагов возгорания.

В целях оптимизации противопожарного обустройства лесной территории учитываются прогнозируемое время доставки сил и средств пожаротушения к очагу пожара, нормативные требования к каждому исходному месту базирования пожарно-химических станций и служб ликвидации пожаров, а также вероятность возникновения и развития очагов крупных лесных пожаров.

Противопожарное обустройство лесного фонда осуществляется в соответствии со стандартом «Устойчивое лесопользование и лесопользование. Требования к мероприятиям по охране леса» (2005) и техническим кодексом «Правила противопожарного обустройства лесов Республики Беларусь» (2009).

Наиболее пожароопасные хвойные массивы разделены противопожарными разрывами или противопожарными заслонами на блоки площадью 400–1600 га. Ширина противопожарных разрывов составляет не менее 20 м, противопожарных заслонов – не менее 200 м.

Минерализованные полосы создаются вокруг и внутри хвойных молодняков, лесных культур; вдоль дорог, проходящих через лесные насаждения I–III классов пожарной опасности; по границам ценных лесных насаждений, специально отведенных мест отдыха, лесных насаждений с другими угодьями; по границам и внутри противопожарных разрывов, заслонов и опушек, а также в других местах, где это необходимо для целей эффективного противопожарного обустройства лесной территории. Ширина минерализованных полос, способы их создания,

- 1 – Полоцкий учебно-опытный лесхоз. Филиал УО БГТУ «Полоцкий государственный лесной колледж»
- 2 – ГЛХУ «Двинская экспериментальная лесная база Института леса НАН Беларуси»
- 3 – ГЛХУ «Тетеринское»
- 4 – Негорельский учебно-опытный лесхоз. Филиал УО БГТУ
- 5 – ГЛХУ «Жорновская экспериментальная лесная база Института леса НАН Беларуси»
- 6 – ГЛХУ «Домановский лесхоз»
- 7 – ЛОХ «Выгоновское» ГПУ «НП «Беловежская пушта»
- 8 – ГЛХУ «Кореневская экспериментальная лесная база Института леса НАН Беларуси»
- 9 – ЭЛОХ «Лясковичи» ГПУ «НП «Припятский»
- 10 – УП «Минское лесопарковое хозяйство»
- 11 – ГСЛХУ «Боровлянский спецлесхоз»



Рис. 6. Лесопожарное районирование территории Беларуси.

число уходов за ними определяются типом условий местопроизрастания и наличием необходимых машин и орудий.

Пожароустойчивые опушки и насаждения, противопожарные каналы, пожарные водоемы устраиваются в зонах интенсивного антропогенного воздействия (вокруг населенных пунктов, домов отдыха и санаториев и т. д.), расположенных вблизи пожароопасных хвойных лесов.

Необходимый объем профилактических мероприятий по противопожарному обустройству лесного фонда юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, зависит от лесопожарного пояса их территории, класса пожарной опасности лесов, а также погодных условий в период пожароопасного сезона. Количественные показатели противопожарных мероприятий определяются Проектом организации и ведения лесного хозяйства юридических лиц, ведущих лесное хозяй-

ство на данный ревизионный период, составленным при лесоустройстве.

Для минимизации случаев лесных пожаров осуществляется строгое соблюдение «Специфических требований по обеспечению пожарной безопасности в лесах» (2019), которые устанавливают требования по обеспечению пожарной безопасности в лесном фонде при использовании, охране, защите, воспроизводстве лесов, осуществлении иной деятельности, в том числе не связанной с ведением лесного хозяйства, а также при пребывании граждан и являются обязательными для исполнения юридическими и физическими лицами. Ответственность за нарушение и (или) невыполнение Специфических требований несут юридические и физические лица в соответствии с законодательством.

Мероприятия по охране лесов от пожаров в зонах радиоактивного загрязнения осуществля-

ются в соответствии с «Правилами ведения лесного хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС» (2016).

Эффективность работы лесопожарных служб в значительной степени определяется их оснащённостью специальными средствами пожаротушения, транспорта и связи, от которых зависят продолжительность тушения и площадь пожара к моменту его локализации. Численность лесопожарных служб, их техническая оснащённость специальными средствами пожаротушения, транспортом и связью обеспечивает в лесном фонде страны своевременную локализацию и ликвидацию лесных пожаров. Для оперативной ликвидации лесных пожаров доставка лесопожарных служб к очагу пожара осуществляется в наиболее короткий срок, активное тушение пожара начинается с момента обнаружения.

К основным подразделениям лесопожарных служб в Республике Беларусь относятся пожарно-химические станции различных типов, а также пункты сосредоточения пожарного инвентаря. В системе Министерства лесного хозяйства по состоянию на 01.01.2023 г. в наличии имелись 261 ПХС и 663 ППИ. Порядок создания и функционирования ПХС на территории юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, а также их задачи по обеспечению своевременной ликвидации очагов возгорания в лесном фонде, рациональному использованию противопожарного инвентаря, технических и химических средств пожаротушения, эффективному применению тактических приемов тушения лесных пожаров определяются «Положением о пожарно-химических станциях», изложенном в «Специфических требованиях...» (2019). Ответственность за оснащение ПХС и ППИ средствами пожаротушения возложена на руководителя юридического лица, ведущего лесное хозяйство.

На территории юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, созданы ПХС двух типов: первого (ПХС-1) и второго (ПХС-2). ПХС-1 создаются при структурных подразделениях юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, и их задачей является оперативная ликвидация очагов возгораний на территории лесного фонда (до 20 тыс. га). ПХС-2 создаются при юридических лицах, ведущих лесное хозяйство, и в их задачу входят ликвидация очагов возгораний на территории лесного фонда (свыше 20 тыс. га), а также оказание помощи ПХС-1 в тушении крупных пожаров в лесном фонде соответствующих юридических лиц, ведущих лесное хозяйство.

На протяжении последних лет на базе всех государственных производственных лесохозяйственных объединений Министерства лесного хозяйства в пределах административных областей создается дополнительная сеть укрупненных ПХС-2 для оперативной ликвидации крупных лесных пожаров в других лесхозах в пределах своих административных областей, поэтому главным критерием при выборе нахождения ПХС-2 является географическое расположение лесхоза.

При структурных подразделениях юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, не имеющих ПХС, создаются пункты ППИ. Оснащение ПХС и ППИ средствами пожаротушения осуществляется в соответствии с минимальным перечнем средств пожаротушения, закрепленных за ПХС и ППИ, установленным Специфическими требованиями по обеспечению пожарной безопасности в лесах.

На территории страны мероприятия по борьбе с пожарами проводятся с использованием наименее экологически опасных средств и технологий, исключающих или в значительной мере ограничивающих их негативное влияние на лесные насаждения, человека и окружающую среду. Выбор способов и технических средств борьбы с пожарами зависит от их вида и интенсивности, наличия сил и средств пожаротушения, намечаемых тактических приемов и техники тушения пожара, а также метеорологической обстановки.

Лесопожарные службы для борьбы с лесными пожарами, по состоянию на 01.01.2023 г., имели в наличии 557 пожарных автомобилей, 34 вездехода, 948 емкостей для подвоза воды, свыше 2 тыс. мотопомп различной производительности, 390 лесопожарных модулей и другую специализированную технику и оборудование.

Тушение небольших по площади пожаров проводят ранцевыми лесными опрыскивателями и огнетушителями РЛО-М, ОР, ОРХ-3 и ОРМ-1, РЛО «ЕРМАК» и др. Для доставки воды к очагу пожара используют различные резервуары и емкости, в том числе прицепные: РДВ-12, РДВ-300, РДВ-600, РДВ-1000, РДВ-1500, ЦВ-1.2, РЖТ-3, РЖТ-4М, РЖТ-8.0, ЗЖВ-1.8, РЖУ-3.6, П-1.00, ВУ-3 и другие вместимостью от 12 до 8000 л. Для тушения более крупных пожаров используются пожарные машины, вездеходы, лесопожарные модули и другая специализированная техника.

Для борьбы с лесными пожарами применяются отечественные экологически безопасные



огнезащитные химические составы «Метафосил» и «Комплексил» (Инструкция..., 2002, 2015), необходимый объем которых имеется на ПХС.

При ликвидации верховых пожаров и низовых пожаров сильной интенсивности применяются методы отжига в соответствии с «Методическими рекомендациями по тушению лесных пожаров методом отжига» (2012).

**Учет лесных пожаров.** Учет лесных пожаров осуществляют юридические лица, ведущие лесное хозяйство, и их вышестоящие органы по утвержденным формам. Руководители юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, обязаны вести учет лесных пожаров, анализировать причины их возникновения на находящейся в их ведении территории лесного фонда и своевременно принимать меры к устранению этих причин.

Основным документом по учету пожаров является акт о лесном пожаре, который составляется после его ликвидации. Право составления акта о лесном пожаре имеют работники государственной лесной охраны и другие должностные лица в соответствии с действующим законодательством. При составлении акта проводится инструментальная съемка пройденной пожаром площади и составляется карта (схема) лесного пожара. Определяются границы, размеры и степень повреждения участков насаждений, подверженных различного вида и интенсивности пожарам. Площадь лесного пожара после его ликвидации определяется инструментальной съемкой с точностью до 0.1 га. В акте указываются место возникновения пожара; способ и время его обнаружения; площадь пожара на момент обнаружения и (или) начала тушения; погодные условия местности на момент возникновения пожара; силы, которые привлекались к тушению пожара; сроки, способы и средства его ликвидации; причина и виновные (при их установлении) возникновения пожара; сведения, необходимые для расследования пожара; потери (прямые и побочные) в результате пожара; информация о дальнейшем направлении материала о лесном пожаре в правоохранительные органы для расследования причин его возникновения и распространения, установления виновных лиц.

При установлении виновников пожара составляется «Протокол об административном правонарушении». Виновник пожара несет материальную ответственность за возникновение пожара и в случае отказа от возмещения ущерба в установленный срок материалы вместе с про-

токолом направляются в судебные органы. Сведения о лесных пожарах, обнаруженных ГААСУ «Авиация» Министерства по чрезвычайным ситуациям включаются в общую отчетность по учету пожаров. В лесничествах и лесхозах ведутся журналы учета лесных пожаров, в которые заносятся все пожары площадью свыше 0.1 га, возникающие на территории лесного фонда, независимо от вида пожара и причин возникновения. В журнал учета лесных пожаров заносится информация о лесном пожаре, приведенная в акте о лесном пожаре. При обнаружении загорания в лесном фонде юридических лиц, ведущих лесное хозяйство, составляется акт о лесном пожаре без указания площади. Сведения о лесном пожаре передаются из лесничества в соответствующие вышестоящие структурные подразделения юридических лиц, ведущих лесное хозяйство.

На основании итоговых записей в журнале учета пожаров в лесном фонде составляются ежегодный статистический отчет о лесных пожарах по установленной форме, в соответствии с «Законом Республики Беларусь о пожарной безопасности» (1993). Государственный учет лесных пожаров осуществляется Национальным статистическим комитетом. Правила государственного учета лесных пожаров, порядок представления сведений о них утверждаются Национальным статистическим комитетом по согласованию с Министерством РБ по чрезвычайным ситуациям.

Таким образом, на территории Республики Беларусь современный уровень охраны лесов от пожаров позволяет в значительной мере обеспечивать целостность и биологическую устойчивость лесных экосистем, минимизацию ущерба, причиняемого пожарами.

Приоритетными направлениями совершенствования охраны лесов от пожаров в соответствии со «Стратегическим планом развития лесохозяйственной отрасли Республики Беларусь на период с 2015 по 2030 годы» (2014) является развитие многоуровневой системы оперативного обнаружения лесных пожаров на основе использования наземного мониторинга, дистанционного видеомониторинга (в том числе автоматизированного), авиационного и космического мониторинга; создание комбинированной системы слежения и раннего обнаружения лесных пожаров дистанционными методами с использованием средств видеонаблюдения на базе общереспубликанской сети ведомственных пожарно-наблюдательных вышек и мачт, вышек

операторов связи и других высотных сооружений, обеспечивающей замкнутость контуров наблюдения в лесном фонде юридических лиц, ведущих лесное хозяйство.

Требуется модернизация служб охраны лесов от пожаров на основе их оснащения современными средствами связи, высокоэффективными, экологически безопасными машинами, механизмами, оборудованием и химическими средствами для мониторинга, профилактики и ликвидации пожаров. Необходимы разработка, совершенствование и внедрение в практику охраны лесов от пожаров научно обоснованных инновационных технологий на основе использования высокоэффективных и экологически безопасных технических и химических средств; совершенствование нормативных правовых и технических нормативных правовых актов в области мониторинга, профилактики и ликвидации лесных пожаров и ликвидации их последствий, с учетом лесного и природоохранного законодательства.

Следует совершенствовать противопожарное обустройство лесного фонда, в том числе путем создания и формирования лесохозяйственными мероприятиями пожароустойчивых насаждений в зонах с высокой степенью антропогенной нагрузки и радиоактивного загрязнения.

При ликвидации лесных пожаров на загрязненных радионуклидами территориях для обеспечения безопасности участников пожаротушения необходимо более широкое применение эффективных огнегасящих химических веществ, обладающих как высокой сорбционной способностью радионуклидов, так и свойствами локализовать их в твердых продуктах сгорания лесных горючих материалов.

Внедрение в практику охраны лесов от пожаров современных средств, методов и технологий профилактики и борьбы с ними позволит минимизировать их площади, причиняемый материальный и экологический ущерб, сохранить природный комплекс на территории Республики Беларусь.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Вследствие высокой пожарной опасности лесов на территории Республики Беларусь профилактика, оперативное обнаружение и ликвидация пожаров являются одной из наиболее актуальных задач в лесном хозяйстве. Проблема борьбы с пожарами обострилась после катастрофы на Чернобыльской АЭС, в результате

которой 25.6 % территории лесного фонда подверглось загрязнению радионуклидами с уровнем поверхностного загрязнения почвы  $^{137}\text{Cs}$  1 Ки/км<sup>2</sup> и более.

В настоящее время в связи с высокой пожарной опасностью лесопокрытой территории и антропогенной нагрузкой функционирует высокоэффективная организационная структура управления охраной лесов от пожаров. Организацию и ведение работ по охране лесов на республиканском и территориальном уровнях осуществляют Министерство лесного хозяйства, его соответствующие структурные подразделения, а также юридические лица, ведущие лесное хозяйство.

Анализ многолетних (1959–2022 гг.) статистических данных свидетельствует о том, что средняя площадь одного пожара, которая является показателем оперативности его обнаружения и ликвидации, составила 1.60 га. Наибольший удельный вес в пройденной пожарами площади составляли низовые пожары (87.2 %). Основной причиной возникновения пожаров является антропогенный фактор. В отдельные годы до 4 % случаев пожаров обусловлено грозвыми разрядами. На протяжении последних лет причиной возникновения пожаров являются трансграничные пожары (0.4–1.0 % от общего количества случаев).

Определение класса пожарной опасности лесов по условиям погоды осуществляет Белгидромет на основании данных, получаемых со всех метеостанций страны. Информация за последние сутки и краткосрочный (до 3 дней) прогноз класса пожарной опасности лесов по условиям погоды оперативно передается органам лесного хозяйства.

Система обнаружения пожаров основана на осуществлении визуальных наблюдений с пожарно-наблюдательных вышек и мачт, авиапатрулирования, дистанционного видеонаблюдения, наземного патрулирования работниками государственной лесной охраны и космического мониторинга.

Режим маршрутного авиапатрулирования выполняется в зависимости от класса пожарной опасности лесов по условиям погоды, в соответствии со Специфическими требованиями по обеспечению пожарной безопасности в лесах и Схемой авиапатрулирования лесов.

Противопожарное обустройство лесного фонда проводится на основании разработанного Институтom леса НАН Беларуси лесопожарного районирования территории страны в

соответствии со стандартом «Устойчивое лесосоуправление и лесопользование. Требования к мероприятиям по охране леса» (2005) и техническим кодексом «Правила противопожарного обустройства лесов Республики Беларусь» (2009). Для юридических лиц, ведущих лесное хозяйство на территории различных лесопожарных поясов, дифференцированы объемы мероприятий по противопожарному обустройству их лесного фонда.

Основными подразделениями лесопожарных служб являются 261 пожарно-химическая станция двух типов (ПХС-1 и ПХС-2), 6 укрупненных ПХС-2, а также 663 пунктов противопожарного инвентаря, функционирование которых осуществляется в соответствии с «Положением о пожарно-химических станциях» (Специфические требования..., 2019). Существующая сеть ПХС и ППИ обеспечивает высокую оперативность ликвидации лесных пожаров.

Выбор способов, технических и химических средств по профилактике и ликвидации лесных пожаров зависит в первую очередь от природно-климатических, почвенно-гидрологических, лесопирологических, эколого-экономических факторов, а также вида и интенсивности пожара, наличия сил и средств пожаротушения.

Учет лесных пожаров осуществляют юридические лица, ведущие лесное хозяйство, и их вышестоящие органы по утвержденным формам в соответствии с Законом Республики Беларусь «О пожарной безопасности» (1993).

Совершенствование и внедрение инновационных средств, методов и технологий профилактики, мониторинга и ликвидации пожаров в различных лесорастительных и техногенных условиях обеспечит снижение горимости лесов и сохранение природного комплекса в республике.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

*Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Прогнозирование и мониторинг лесных пожаров. Общие требования:* СТБ 1408-2003. Введ. 12.06.2003 г. Минск: Госстандарт, 2003. 20 с.

*Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2023 г.* Минск: Мин-во лесн. хоз-ва Респ. Беларусь; Лесоустр. респ. унит. предпр. «Белгослес», 2023. 87 с.

*Диченков Н. А.* Шкала для определения пожарной опасности по условиям погоды // Лесн. хоз-во. 1978. № 6. С. 74–75.

*Закон Республики Беларусь «О пожарной безопасности»* от 15.06.1993 № 2403-XII. Пост. Верховного Совета Респ. Беларусь. Минск, 1993.

*Инструкция по применению огнезащитного химического состава «Метафосил» для борьбы с лесными пожарами.* Введ. 06.05.2002 г. Минск: Мин-во лесн. хоз-ва Респ. Беларусь, 2002. 10 с.

*Инструкция по применению огнезащитного химического состава «Комплексил» для борьбы с лесными и торфяными пожарами.* Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2015. 8 с.

*Лесной кодекс Республики Беларусь* от 24.12.2015 № 332-3. Принят Палатой представителей 03.12.2015 г. Одобрен Советом Республики 09.12.2015 г.

*Методические рекомендации по тушению лесных пожаров методом отжига.* Введ. 14.03.2012 г. Минск: Мин-во лесн. хоз-ва Респ. Беларусь, 2012. 17 с.

*Постановление Совета Министров Республики Беларусь* от 14.10.1993 № 704 «Об утверждении Положения о Министерстве лесного хозяйства Республики Беларусь». Минск: Совет Министров Республики Беларусь, 1993.

*Правила ведения лесного хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС.* Утв. Пост. Мин-ва лесн. хоз-ва Респ. Беларусь от 27.12.2016 № 86. Минск: Мин-во лесн. хоз-ва Респ. Беларусь, 2016.

*Правила противопожарного обустройства лесов Республики Беларусь:* ТКП 193-2009 (02080). Введ. 05.08.2009 г. Минск: Мин-во лесн. хоз-ва Респ. Беларусь, 2009. 12 с.

*Специфические требования по обеспечению пожарной безопасности в лесах.* Утв. Пост. Совета Министров Республики Беларусь от 28.10.2019 № 722. Минск: Совет Министров Республики Беларусь, 2019. 17 с.

*Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли Республики Беларусь на период с 2015 по 2030 годы.* Минск: Мин-во лесн. хоз-ва Респ. Беларусь, 2014. 20 с.

*Указ Президента Республики Беларусь* от 07.05.2007 № 214 «О некоторых мерах по совершенствованию деятельности в сфере лесного хозяйства». Минск, 2007.

*Усеня В. В.* Лесные пожары, последствия и борьба с ними. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2002. 206 с.

*Усеня В. В., Каткова Е. Н., Ульдинович С. В.* Лесная пирология: учеб. пособ. для студ. высш. учеб. завед. по спец. «лесн. хоз-во». Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2011. 264 с.

*Устойчивое лесосоуправление и лесопользование. Требования к мероприятиям по охране леса:* СТБ 1582-2005. Введ. 01.06.2006 г. Минск: Госстандарт, 2005. 10 с.

## PROTECTION OF FORESTS FROM FIRES IN THE REPUBLIC OF BELARUS: STATUS AND WAYS FOR IMPROVEMENT

V. V. Usenya

*Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus  
Proletarskaya str., 71, Gomel, 246050 Republic of Belarus*

---

E-mail: usenyaforinst@gmail.com

Forests on the territory of the Republic of Belarus are potentially fire hazardous. The organization of work to protect forests from fires at the republican and territorial levels is carried out by the Ministry of Forestry, its relevant structural divisions, legal entities involved in forestry, as well as emergency departments (aircraft protection of forests) of the Ministry of Emergency Situations. In the forest fund in 1959–2022, 139.7 thousand fires occurred on a total area of 222.9 thousand hectares. Based on the analysis of long-term statistical data, it was revealed that the main cause of forest fires is the anthropogenic factor. Methods and means for forecasting and monitoring forest fires and regulating the work of forest fire services are presented. A multi-level system for monitoring forest fires using ground, aviation and aerospace methods operates throughout the country, which ensures the efficiency of their detection. Information on fire-prevention arrangement of the forest fund is presented. In accordance with forest fire zoning, the country's territory is divided into three forest fire zones, which makes it possible to objectively plan labor and financial resources for fire prevention in the forest fund. The main units of forest fire services are fire-chemical stations of various types, as well as points where fire equipment is concentrated. To fight forest fires, aviation equipment, fire trucks, all-terrain vehicles, water delivery tanks, motor pumps of various capacities, forest fire modules, backpack fire extinguishers of various modifications, fire-retardant chemical compositions and other specialized equipment are used. Registration of forest fires is carried out by legal entities engaged in forestry and their higher authorities on the basis of acts on forest fires, and state registration is carried out by the National Statistical Committee. Ways to improve the protection of forests from fires are outlined, ensuring minimization of their area and damage caused.

**Keywords:** *forest fund, security, fires, dynamics, causes, fire safety equipment, monitoring, liquidation, accounting.*

**How to cite:** *Usenya V. V. Protection of forests from fires in the Republic of Belarus: status and ways for improvement // Sibirskij Lesnoj Zurnal (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 141–154 (in Russian with English abstract and references).*

## МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

УДК 630\*43

### НАУЧНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО ПО ПРОБЛЕМЕ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В СИБИРИ (К 30-ЛЕТИЮ БОРСКОГО МЕЖДУНАРОДНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА)

Г. А. Иванова, Е. К. Кисляхов

*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, yegor@ksc.krasn.ru

*Поступила в редакцию 01.09.2023 г.*

Представлены итоги 30-летнего международного сотрудничества по проблеме лесных пожаров с учеными из стран Европы и Америки, включающего международные конференции, встречи, совместные экспериментальные исследования по моделированию лесных пожаров и мониторингу послепожарной сукцессии в бореальных лесах Сибири. В 1993 г. в Красноярском крае был проведен Борский эксперимент по изучению горения биомассы в среднетаежном сосняке, представляющий собой смоделированный контролируемый высокоинтенсивный лесной пожар. Полученные экспериментальные данные по параметрам поведения огня и пожарным эмиссиям позволили осуществить послепожарный мониторинг и оценить последствия воздействия пожара на компоненты леса. Борский эксперимент был уникален своими размерами и продолжительным мониторингом послепожарного лесовосстановления. В 1996 г. начались совместные международные исследования по проведению контролируемых выжиганий вырубок с целью снижения пожарной опасности и стимулирования лесовосстановительных процессов на вырубках в равнинных и горных пихтарниках разнотравно-зеленомошных. Для изучения воздействия пожаров на компоненты экосистемы в этот же период проводились эксперименты по моделированию пожаров разной интенсивности в южно- и среднетаежных сосняках. По уровню комплексных исследований и глубине их проработки эксперименты уникальны и проведены для бореальных лесов России впервые. После контролируемых выжиганий и экспериментов проводился мониторинг за процессом послепожарного лесовосстановления. Научное сотрудничество и обмен опытом с коллегами из других стран обогатили отечественную лесную пирологию зарубежным опытом и знаниями, а также сделали результаты исследований российских ученых доступными международной научной обществу.

**Ключевые слова:** *пирогенные факторы в бореальных лесах Евразии, мониторинг лесных пожаров, международное сотрудничество.*

DOI: 10.15372/SJFS20230615

Произошедшие глобальные перемены в 90-х годах XX в. в государственном устройстве России повлекли изменения и в науке. В этот период международное лесное сообщество проявило большой интерес к экспериментальным исследованиям лесных пожаров в бореальных лесах.

В 1991 г. началось научное сотрудничество ученых Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН с Центром глобального мониторинга пожа-

ров (Германия), руководимым Й. Г. Голдаммером, в результате которого была создана программа работ по совместному исследованию роли пирогенного фактора в бореальных лесах Евразии. Было предложено провести международную конференцию и эксперимент в природных условиях по моделированию поведения лесного пожара и оценке пирогенных эмиссий в Сибири на базе Института леса им. В. Н. Сукачева

СО РАН. В Институте леса была создана инициативная группа по подготовке международной научной конференции по проблеме лесных пожаров, в которую вошли Й. Г. Голдаммер, Э. Н. Валендик, В. В. Фуряев и сотрудники лаборатории лесной пирологии.

В 1993 г. в Красноярске в Институте леса им. В. Н. Сукачева СО РАН состоялась международная конференция: «Пожары в экосистемах бореальной Евразии» и полевой научный эксперимент по моделированию лесного пожара. В конференции и эксперименте приняли участие ученые из России, США, Канады, Германии и других европейских стран. Проведенный после конференции полевой эксперимент был также приурочен к компании по изучению пожаров Азия-Север (FIRESCAN), которая финансировалась Международной ассоциацией исследователей бореальных лесов (IBFRA) и подпрограммой IGBP/IGAC «Воздействие горения биомассы на атмосферу».

Эксперимент по изучению горения биомассы на Борском острове, проведенный под руководством Э. Н. Валендика в июле 1993 г., имел целью моделирование поведения контролируемого высокоинтенсивного пожара с параметрами, характерными для природного пожара (Fire..., 1996; Valendik et al., 2013). Основная задача эксперимента состояла в создании высокоинтенсивного пожара, который позволил бы зарегистрировать параметры поведения огня, пожарные эмиссии, оценить краткосрочные и долгосрочные последствия горения, чтобы на основе этих измерений можно было сравнить западные и восточные методологии пожарных исследований. В эксперименте принимали участие ученые из более чем десяти зарубежных стран (рис. 1).

Для подготовки экспериментального лесного участка была создана группа под руководством Э. Н. Валендика, в которую вошли научные сотрудники Института леса Г. А. Иванова, В. А. Иванов, Е. К. Кисильхов и В. Д. Перевозникова.

В результате экспедиционных работ был подобран и подготовлен для проведения эксперимента лесной участок в Красноярском крае, в 90 км южнее пос. Бор Туруханского района (60°45' с. ш., 89°25' в. д.), по наименованию которого участок, окруженный болотами, назвали «Борский остров».

Борский экспериментальный участок расположен на Сымской равнине Западно-Сибирской

равнины. Это почти плоский песчаный остров, окруженный болотами, на которых преобладали разнотравно-сфагновый покров и высокая осока (*Carex L.*). Центр острова приподнят от уровня болота на 6 м. Почвы представлены железистым подзолом с крупнозернистым песком. На острове сформировались чистые сосняки багульниково-бруснично-лишайниковые (рис. 2, а).

До пожара было проведено лесоводственно-таксационное описание насаждения и дана оценка запасов напочвенных лесных горючих материалов по методикам Н. П. Курбатского (1970) и D. J. McRae и соавт. (1979). Реконструирована хронология прошлых лесных пожаров на данном участке и во всем ландшафте с использованием дендрохронологических методов (Madany et al., 1982; Dieterich, Swetnam, 1984). В сосняках на Борском острове за последние 600 лет выявлены 6 пожаров (1481, 1638, 1753, 1796, 1867 и 1956 гг.).

Периоды между этими пожарами составляли от 43 до 157 лет, при среднем пожарном интервале 95 лет. Руководил проведением эксперимента Э. Н. Валендик, зажигание и обеспечение пожарной безопасности осуществляли сотрудники Красноярской базы авиационной охраны лесов.

Неблагоприятные погодные условия для горения, низкая скорость и смены направлений ветра в день эксперимента не способствовали развитию высокоинтенсивного пожара. Этого можно было добиться только сильной конвекцией и зажиганием по всему периметру острова. Зажигание напочвенного покрова начали с восточной стороны острова по ветру, после смены направления ветра на противоположное его провели по западной стороне острова, чтобы получить быстрое распространение кромки огня по ветру, затем – по северной и южной границам острова. В результате сформировалась кромка огня по всему периметру острова, что способствовало развитию высокоинтенсивного горения с образованием конвективной колонки (рис. 2, б). Пожар развился как высокоинтенсивный, передвигающийся за счет конвекции и включающий элементы верхового и низового пожара. Заключительная фаза горения представляла собой стену огня, так как одновременно горели все яруса растительности (рис. 2, в). В связи с сильной конвекцией при горении образовавшаяся над пожаром дымовая колонка достигала высоты 5000 м (Куценогий и др., 1996; Fire..., 1996).



Рис. 1. Участники Борского международного пожарного эксперимента.

Верховым пожаром было пройдено 57 % насаждения, при этом огонь распространялся со средней скоростью 25 м/мин. Интенсивность горения на кромке пожара составила 28 тыс. кВт/м (Fire..., 1996). Такие показатели характерны для высокоинтенсивных пожаров в бореальных лесах, зачастую приводящих к полному уничтожению насаждений (рис. 2, *з*).

По данным измерений при пожаре, максимальная температура горения на поверхности

лишайникового покрова в сосняке достигала 850 °С, при этом температура 500 °С и более держалась в одной точке более минуты (1.07 мин), а 100 °С – более 5 (5.64) мин. На глубине почвы 1 и 3 см температура свыше 100 °С наблюдалась 4.72 и 5.63 мин соответственно (Fire..., 1996).

После пожара на экспериментальном участке в течение 25 лет осуществляли мониторинг за состоянием компонентов насаждения, изменением их фитомассы и послепожарной сукцес-

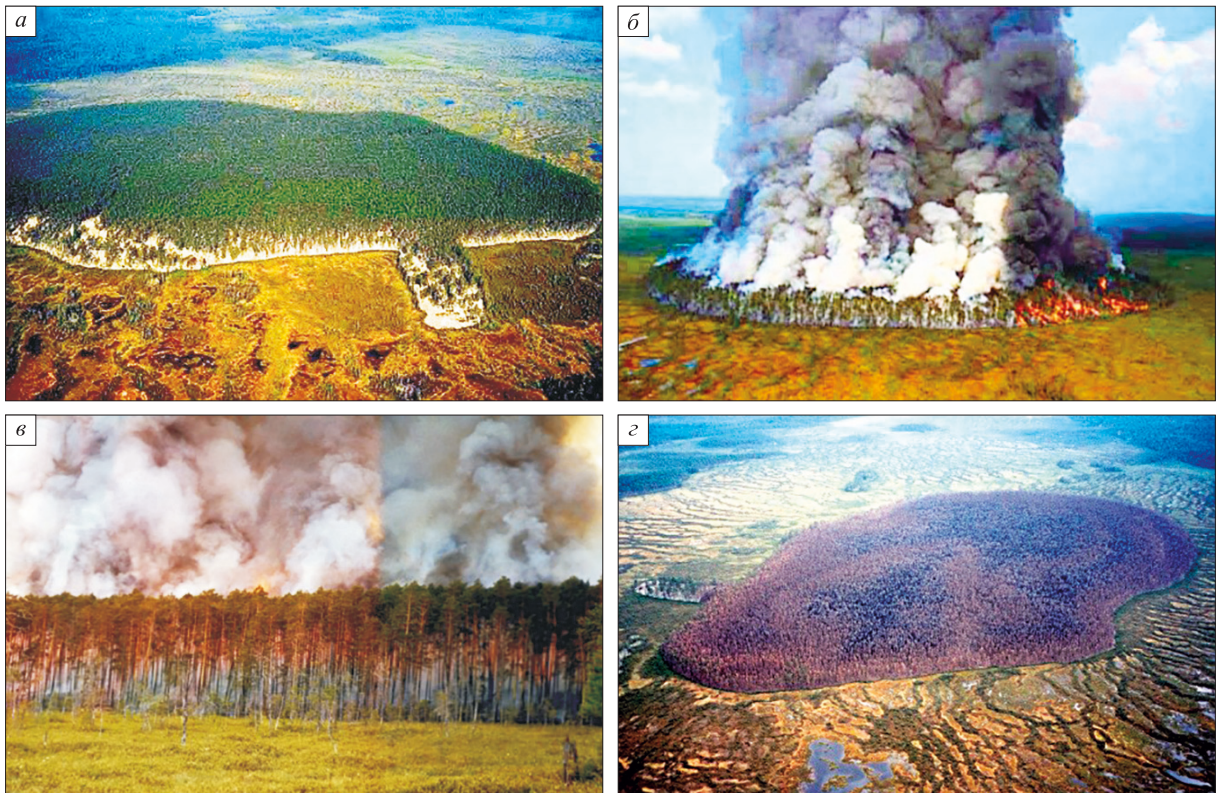


Рис. 2. Борский эксперимент.

*а* – сосняки на острове до пожара; *б* – конвекционная колонка пожара; *в* – высокоинтенсивный пожар; *г* – острова сразу после пожара.



Рис. 3. На послепожарном обследовании сосняков Борского острова, 1996 г.

сий. Экспедиции на остров проводились в 1994–1996, 1999, 2003, 2005, 2008, 2012, 2013, и 2018 гг. В полевых международных исследованиях принимали участие не только сотрудники Института леса, но и ученые из других стран (рис. 3).

На участках леса, пройденных высокоинтенсивным верховым пожаром, в год после пирогенного воздействия все деревья погибли. Это связано с тем, что они длительное время находились в зоне летальных температур. При воздействии высоких температур и при переходе огня в полог древостоя у многих сосен (*Pinus L.*) обгорели кроны.

Через год после пожара на участках леса, пройденных высокоинтенсивным низовым пожаром, погибло более половины деревьев. Почти все деревья были заселены энтомовреди-

телями. Через 2 года у большинства деревьев полностью облетела хвоя и кора. В последующие годы отпад деревьев продолжался и, по нашим наблюдениям, количество живых деревьев после пирогенного воздействия, составляло через 5 лет – 26.3 %, через 12 лет – 13.4 % и через 20 лет – лишь 2.5 % (Иванова и др., 2018).

После пожара на Борском острове лесовосстановление происходило без смены пород. Несмотря на гибель части всходов и самосева сосны, численность возобновления довольно существенно возросла со временем. При этом, если в первые 5 лет после пожара возобновление было представлено исключительно самосевом, то через 12 лет – 24 % молодого поколения сосны относилось к категории подроста, произрастающего преимущественно одиночно (рис. 4, а).



Рис. 4. Возобновление сосной через 12 (а) и через 20 (б) лет после пожара.



Спустя 20 лет после пожара (в 2013 г.) численность возобновления достигала более 13 тыс. экз./га и 62 % составлял подрост. Он распределен по площади равномерно и произрастает одиночно (рис. 4, б). Преобладание благонадежного подростка сосны с индексом жизненного состояния до 92 % дает основание оценивать естественное послепожарное возобновление под пологом сосняков как здоровую ценопопуляцию (Иванова и др., 2018). Через 25 лет после указанного пирогенного воздействия лесовосстановительный процесс сосняков на Борском острове успешно продолжалось.

В 2023 г. исполнилось 30 лет со дня проведения Борского эксперимента. Он был уникален своими размерами и продолжительным мониторингом послепожарного лесовосстановления. В 1993 г. на Борском острове началась совместная работа исследователей лесных пожаров разных стран по пожароуправлению. По ее результатам были изданы две монографии – «Fire in Ecosystems of boreal Eurasia» (1996) и «Prescribed burning in Russia and neighbouring temperate-boreal Eurasia» (2013) – и ряд научных статей.

Научное сотрудничество и обмен опытом с коллегами из других стран обогатили отечественную лесную пирологию зарубежным опытом и знаниями, а также сделали результаты российских ученых доступными международной научной лесной общественности. В результатах длительного послепожарного мониторинга состояния экосистемы и лесовосстановления на Борском участке заинтересованы специалисты лесного хозяйства по всему миру.

**Международное сотрудничество по пожароуправлению.** Исследования по использованию огня в лесохозяйственных целях длительное время проводятся специалистами европейских стран, США, Канады и Австралии, где контролируемые выжигания применяются в широких масштабах с начала прошлого столетия. В России контролируемые выжигания длительное время были запрещены. Проводилось лишь сжигание порубочных остатков в кучах и отжиг от дорог общего пользования. И до настоящего времени исследования по применению огня в лесном хозяйстве находятся в стадии опытно-производственных.

В связи с запретом использования контролируемых выжиганий в лесах России и сформировавшемся представлении о том, что лесной пожар – это стихийное бедствие, противников применения огня в лесу значительно больше,

чем сторонников. Между тем известные отечественные лесоводы М. Е. Ткаченко (1931), И. С. Мелехов (1954) и Е. С. Арцыбашев (1984) придавали большое значение использованию огня в лесном хозяйстве. Подобную позицию занимают и многие практики лесного хозяйства в настоящее время.

В связи с индустриализацией в последние десятилетия в Сибири накопились огромные площади вырубок, на которых возникает до 70 % всех пожаров, часто переходящих на окружающие лесные участки. Из-за большого количества горючих материалов и создавшихся благоприятных условий для их высыхания высокая пожарная опасность на вырубках сохраняется в течение всего пожароопасного сезона. Даже обилие зеленой массы трав и кустарничков не снижает ее. Как показывает зарубежный опыт, сжигание порубочных остатков дает возможность эффективно снизить пожароопасность вырубок. Ликвидация захламленности и обогащение почвы микроэлементами обеспечивают более высокую приживаемость и устойчивость сеянцев и саженцев, повышают их конкурентоспособность и содействуют успешному лесовосстановлению.

Контролируемые выжигания определяют методы и способы применения огня в природных растительных сообществах для достижения таких целей, как снижение пожарной опасности в лесу и на вырубках, стимулирование процессов лесовосстановления, уничтожение нежелательной растительности, энтомовредителей и другие. Контролируемые выжигания проводят при определенных параметрах среды, которые позволяют сдерживать горение заданной интенсивности и скорость распространения огня в заранее намеченных границах.

Международные исследования по применению контролируемых выжиганий в лесном хозяйстве в Сибири были начаты в Институте леса им. В. Н. Сукачева в конце 90-х – начале 2000-х годов под руководством Э. Н. Валендика. С 1996 по 2002 г. сотрудники Института леса им. В. Н. Сукачева совместно с Комитетом по лесу Красноярского края, в рамках международного проекта с Лесной службой США по устойчивому ведению лесного хозяйства проводили опытно-производственные работы по предписанным выжиганиям на вырубках и под пологом леса, а также на лесных участках с древостоем, погибшим в результате повреждения сибирским шелкопрядом (*Dendrolimus sibiricus*



**Рис. 5.** Контролируемые выжигания на вырубке в пихтарниках разнотравно-зеленомошных в Большемуртинском лесничестве Красноярского края в 1999 г.

*а* – горение порубочных остатков; *б* – научные сотрудники Института леса СО РАН С. В. Верховец (слева) и Е. К. Кисляхов (справа) на вырубке после контролируемых выжиганий.



**Рис. 6.** На обследовании вырубок после выжигания в Большемуртинском лесничестве Красноярского края, 2008 г.

Слева направо, сидят – Э. Н. Валендик, С. В. Верховец, Джон Бриссет, Стив Юбэнкс, стоят – Рич Ласко, А. А. Онучин.

Tschetverikov). В выжиганиях участвовали научные сотрудники лаборатории лесной пирологии Е. К. Кисляхов, Г. А. Иванова, С. В. Верховец, А. В. Брюханов, В. А. Бычков, И. В. Косов, в выполнении проекта – сотрудники Лесной службы США Джон Бриссет, Стив Юбэнкс и Рич Ласко.

Контролируемые выжигания с целью снижения пожарной опасности и стимулирования лесовосстановительных процессов проводились в нескольких лесничествах на вырубках в равнинных и низкогорных пихтарниках разнотравно-

зеленомошных, а также в горных лесах на склонах разной экспозиции и крутизны (рис. 5, 6).

В 1999 г. контролируемые выжигания, проводимые сотрудниками Института леса, вышли за рамки экспериментальных и перешли в разряд производственных. В пяти лесничествах Красноярского края были созданы мобильные бригады, которые и проводили контролируемые выжигания. Накопленный опыт проведения контролируемых выжиганий обобщен в монографиях (Валендик и др., 2000, 2001, 2011; Valendik et al., 2013), научных статьях и методических

рекомендациях и рекомендован как для научных работников, так и практиков лесного хозяйства. По материалам научных исследований были защищены три кандидатские диссертации.

Следует отметить, что выжигание растительных остатков является единственным эффективным и экономичным методом очистки мест рубок, содействия естественному лесовозобновлению и предупреждению возникновения высокоинтенсивных пожаров. Метод также эффективен и для очистки территории от усохших лесов после дефолиации сибирским шелкопрядом, где другие методы по техническим причинам неприемлемы.

В настоящее время в России разрешено применение огня только для очистки вырубок от порубочных остатков, предварительно сложенных в кучи и валы (Постановление..., 2020), а также для создания защитных противопожарных полос сжиганием сухой травы (Приказ..., 2019).

Проведенные в Красноярске международные «Недели пожароуправления» в 2012 и 2013 гг. показали необходимость разработки эффективных и экономически приемлемых технологий применения контролируемых выжиганий в лесах и включения их в процессы планирования лесоуправления и лесопользования в лесах Сибири (Goldammer et al., 2017).

**Международное сотрудничество по исследованию роли пожаров в бореальных лесах.** Пожары являются одним из основных дестабилизирующих факторов лесных экосистем. Помимо воздействия на компоненты экосистемы, важным экологическим последствием является воздействие пожаров на запасы углерода в лесах и углеродный баланс атмосферы. Лесные пожары являются источником не только прямой эмиссии углерода при горении, но и обуславливают послепожарную эмиссию при разложении поврежденной огнем растительности.

Последние исследования показали, что воздействие пожаров в бореальных регионах на глобальный баланс углерода сильно недооценивается, и потенциально это воздействие претерпевает очень значительные изменения в связи с изменениями климата и систем пожароуправления (Wotton et al., 2017). Ожидается также, что повышение температуры в бореальных районах будет значительнее, чем в среднем на нашей планете, и риск увеличения частоты пожаров в связи с изменениями климата в России выше, чем в Канаде (Weber, Flannigan, 1997). Наиболее серьезное влияние пожаров на химию атмосферы

предполагается через изменения в накоплении углерода, связанные с переменами в пользовании и в пожарных режимах (Kasischke et al., 1995). В то же время эти оценки не включают возможные изменения послепожарных биогенных эмиссий.

В рамках международного сотрудничества учеными Института леса им. В. Н. Сукачева совместно с представителями лесных служб США и Канады С. Г. Конард и Д. Д. Макреем разработана и осуществлялась научная программа по исследованию роли пожаров в бореальных лесах в период с 1999 по 2015 г. С целью оценки влияния пожаров на эмиссии углерода и устойчивость лесных экосистем в сосняках и лиственничниках Средней Сибири в этот период была проведена серия экспериментов по моделированию поведения лесных пожаров разной интенсивности, максимально приближенных к естественным пожарам, под руководством Г. А. Ивановой.

В международных экспериментах по моделированию лесных пожаров принимали участие научные сотрудники Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН, Института химической кинетики и горения СО РАН, лесных служб США и Канады, а также преподаватели и студенты Сибирского федерального университета, Сибирского государственного технологического университета, Сибирского государственного университета геосистем и технологий и сотрудники Красноярской базы авиационной охраны лесов (рис. 7).

По уровню комплексных исследований и глубине их проработки эксперименты уникальны и проведены впервые для бореальных лесов России. В ходе исследований использовался многоуровневый подход – сочетание спутниковых данных разного разрешения с аэросъемкой и наземными данными для оценки пространственной динамики интенсивности горения, последствий лесных пожаров, воздействия пожаров разной интенсивности на эмиссии углерода и на компоненты экосистемы. Моделируемые лесные пожары были низовыми, периодически переходившими в кроны деревьев, и носили устойчивый характер. Такие пожары репрезентативны для светлохвойных насаждений Средней Сибири (рис. 8).

В результате моделирования получены экспериментальные данные по воздействию лесных пожаров разной интенсивности на структуру и биомассу светлохвойных насаждений, на



**Рис. 7.** Участники международной экспедиции на экспериментах по моделированию поведения лесных пожаров в Нижнем Приангарье, Красноярский край, 2003 г.

прямые пожарные эмиссии и послепожарные биогенные эмиссии. Установлено, что при пожарах в сосняках и лиственничниках эмиссии углерода составляют от 4.3 т/га при низкоинтенсивном пожаре до 15.4 т/га при высокоинтенсивном (Иванова и др., 2014, 2022).

На основе экспериментальных данных установлена связь отдельных параметров горения при пожаре с погодными условиями, которые могут быть охарактеризованы комплексными показателями пожарной опасности по погоде, широко используемым в практике охраны лесов от пожаров России, США и Канады.

В течение 15 лет после экспериментальных пожаров проводился мониторинг воздействия пожаров с известными параметрами поведения на растительность, физические и химические свойства почв и почвенную биоту, а также на параметры баланса углерода (рис. 9).

На начальных этапах послепожарного лесовосстановления индикаторами лесорастительных условий и сукцессии являются растения нижних ярусов. При анализе послепожарных сукцессий были использованы геоботанические электронные карты напочвенного покрова, созданные на основе ГИС-технологий.



**Рис. 8.** Эксперимент по моделированию лесного пожара в сосняке кустарничково-лишайниково-зеленомошном в Нижнем Приангарье, Красноярский край, 2002 г.



**Рис. 9.** Лесовозобновление через 13 лет после экспериментального высокоинтенсивного пожара в сосняке кустарничково-лишайниково-зеленомошном в Нижнем Приангарье, Красноярский край, 2015 г.

По нашим данным, в первые 5 лет после пирогенного воздействия, вне зависимости от интенсивности горения, увеличивается минерализационный поток, и экосистема сосняков становится источником углерода в атмосферу.

\* \* \*

С годами наблюдается тенденция увеличения отрицательного значения сальдо баланса, что вызвано превалированием деструкционных процессов вследствие отпада деревьев и накопления подстилки над интенсивностью фотосинтетической ассимиляции. По данным С. Wirth и соавт. (1999), на восстановление функционирования экосистемы сосняков в качестве стока углерода необходимо не менее 40 лет. По нашим данным, этот период определяется степенью нарушения лесной экосистемы, которая, в свою очередь, зависит от интенсивности пожара. Лесные экосистемы, пройденные низкоинтенсивными низовыми пожарами, восстанавливаются в качестве стока углерода в более короткие сроки.

По уровню комплексных исследований и глубине их проработки эксперименты уникальны и проведены впервые для бореальных лесов России. Это стало хорошей школой для молодых ученых. С использованием материалов данных исследований защищено 8 кандидатских и 3 докторских диссертации и более 20 дипломных квалификационных работ студентами. По результатам международных исследований опубликовано две коллективные монографии под общей редакцией Г. А. Ивановой: «Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири» (2014) и «Воздействие пожаров на светлохвойные леса Нижнего Приангарья» (2022), более 100 статей в российских и зарубежных рецензируемых журналах.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Арцыбашев Е. С. Основные задачи лесной пирологии // Горение и пожары в лесу. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1984. С. 5–7.
- Воздействие пожаров на компоненты экосистемы среднетаежных сосняков Сибири / Иванова Г. А., Кошард С. Г., Макрей Д. Д. и др. Новосибирск: Наука, 2014. 232 с.
- Воздействие пожаров на светлохвойные леса Нижнего Приангарья / Иванова Г. А., Кукавская Е. А., Безкорвайная И. Н. и др. Новосибирск: Наука, 2022. 204 с.
- Иванова Г. А., Жила С. В., Иванов В. А., Ковалева Н. М., Кукавская Е. А. Постпирогенная трансформация основных компонентов сосняков Средней Сибири // Сиб. лесн. журн. 2018. № 3. С. 30–41.

- Контролируемые выжигания на вырубках в горных лесах / Э. Н. Валендик, В. Н. Векшин, Г. А. Иванова и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2001. 172 с.
- Курбатский Н. П. Исследование количества и свойств лесных горючих материалов // Вопросы лесной пирологии. Красноярск: Ин-т леса и древесины им. В. Н. Сукачева СО АН СССР, 1970. С. 5–58.
- Куценкогий К. П., Валендик Э. Н., Буфетов Н. С., Барышев В. Б. Эмиссии крупного лесного пожара в Сибири // Сиб. экол. журн. 1996. Т. 3. № 1. С. 93–101.
- Мелехов И. С. Возобновление леса при концентрированных рубках на Севере. Архангельск: Арханг. кн. изд-во, 1954. 198 с.
- Постановление Правительства РФ от 07.10.2020 № 1614 «Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах». М.: Правительство РФ, 2020.
- Приказ Министерства природных ресурсов и экологии РФ от 27.08.2019 № 580 «Об утверждении Методических указаний по организации и проведению профилактических контролируемых противопожарных выжиганий хвороста, лесной подстилки, сухой травы и других лесных горючих материалов в лесах, расположенных на землях лесного фонда». М.: Министерство природных ресурсов и экологии РФ, 2019.
- Ткаченко М. Е. Очистка лесосек. М.; Л.: Сельхозиздат, 1931. 112 с.
- Технологии контролируемых выжиганий в лесах Сибири / Валендик Э. Н., Верховец С. В., Кисляхов Е. К. и др. Красноярск: СФУ, 2011. 160 с.
- Управляемый огонь на вырубках в темнохвойных лесах / Э. Н. Валендик, В. Н. Векшин, С. В. Верховец и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2000. 209 с.
- Dieterich J. H., Swetnam T. W. Dendrochronology of fire scarred ponderosa pine // For. Sci. 1984. V. 30. Iss. 1. P. 238–247.
- Fire in ecosystems of boreal Eurasia / J. Goldammer, V. V. Furjaev (Eds.). London: Kluwer Acad. Publ., 1996. 528 p.
- Goldammer J. G., Eritsov A. M., Kisilyakhov E. K. The need for development of pragmatic and science-based solutions for forest management and fire management for the Russian Federation // Sib. lesn. zhurn. (Sib. J. For. Sci.). 2017. N. 5. P. 114–124.
- 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.
- Madany M. N., Swetnam T. W., West N. E. Comparison of two approaches for determining fire dates from tree scars // For. Sci. 1982. V. 28. N. 4. P. 856–861.
- McRae D. J., Alexander M. E., Stocks B. J. Measurement and description of fuels and fire behavior on prescribed burns: a handbook. Rep. O-X-287. Sault Ste. Marie, Ontario: Environ. Can., Can. For. Serv., Great Lakes For. Res. Cent., 1979. 44 p. + Append.
- Prescribed burning in Russia and neighbouring temperate-boreal Eurasia / E. N. Valendik, J. G. Goldammer, E. K. Kisilyakhov et al.; J. G. Goldammer (Ed.). Remagen, Germany: Kessel Publ. House, 2013. 324 p.
- 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.
- Wirth C., Schulze E. D., Schulze W., Stünzner-Karbe D. von, Ziegler W., Miljukova I. M., Sogatchev A., Varlagin A. B., Pamyorov M., Grigoriev S., Kusnetzova W., Siry M.,

Hardes G., Zimmermann R., Vygodskaya N. N. Above-ground biomass and structure of pristine Siberian Scots pine forests as controlled by completion and fire // *Oecologia*. 1999. V. 121. N. 1. P. 66–80.

Wotton B. M., Flannigan M. D., Marshall G. A. Potential climate change impacts on fire intensity and key wildfire suppression thresholds in Canada // *Environ. Res. Lett.* 2017. V. 12. N. 9. Article 095003. 12 p.

## SCIENTIFIC COOPERATION ON THE PROBLEM OF FOREST FIRES IN SIBERIA (TO THE 30<sup>TH</sup> ANNIVERSARY OF THE BOR INTERNATIONAL EXPERIMENT)

G. A. Ivanova, E. K. Kisilyakhov

*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, yegor@ksc.krasn.ru

The article presents the results of thirty years of international cooperation on the problem of forest fires with scientists from Europe and America. During this period, international conferences, meetings, and joint experimental studies were conducted on forest fires modeling and post-fire succession monitoring in the boreal forests of Siberia. The Bor Forest Island Fire Experiment was conducted in 1993 in the Krasnoyarsk Region to study the burning of biomass in the Middle Taiga pine forest. The experiment was a simulated controlled high-intensity forest fire. The experimental fire behavior and fire emissions parameters obtained made it possible to conduct post-fire monitoring and assess the effects of fire on forest components. The Bor Forest Island Fire Experiment was unique in its size and long-term monitoring of post-fire reforestation. In 1996, joint international studies were launched to conduct controlled burning of logged sites in order to reduce fire danger and stimulate reforestation processes in clear-cuts in lowland and mountain fir forests with ground vegetation as mixed grasses and green mosses. In order to study the impact of fires on ecosystem components, experiments were conducted during the same period to simulate fires of varying intensity in Southern Taiga and Middle Taiga pine forests. In terms of the level of comprehensive research and the depth of their study, the experiments are unique and were conducted for the first time for the boreal forests of Russia. After controlled burning and experiments, the process of post-fire reforestation was monitored. Scientific cooperation and exchange of experience with colleagues from other countries have enriched domestic forest fire science with foreign experience and knowledge, and also made the results of research by Russian scientists available to the international scientific community.

**Keywords:** *pyrogenic factors in boreal forests of Eurasia, forest fire monitoring, international cooperation.*

**How to cite:** *Ivanova G. A., Kisilyakhov E. K. Scientific cooperation on the problem of forest fires in Siberia (to the 30<sup>th</sup> anniversary of the Bor international experiment) // Sibirskij Lesnoj Zhurnal (Sib. J. For. Sci.). 2023. N. 6. P. 155–164 (in Russian with English abstract and references).*

## УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ И СТАТЕЙ (2023 г.)

### ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ

	№	С.
<i>Г. И. Антонов, В. А. Сенашова, Г. Г. Полякова, Н. В. Пашенова, С. В. Жила, И. Д. Гродницкая</i> Влияние инновационных биоудобрений на биологическую активность почвы и подрост сосны обыкновенной после рубок и пожара .....	4	12
<i>Г. Ф. Антонова, В. В. Стасова, А. С. Морозов, С. В. Жила, О. Н. Зубарева</i> Флоэмо- и ксилогенез в стволах сосны обыкновенной в постпирогенный период .....	6	108
<i>Л. И. Бородинцева, В. В. Тараканов, Т. В. Гончарова</i> Продуктивность и качество семян кедра сибирского на лесосеменных объектах в Республике Алтай .....	4	52
<i>И. Ю. Буянов, М. Е. Коновалова, Д. М. Данилина, Н. А. Жиленко, К. В. Шестак</i> Видовой состав наземных позвоночных животных в зоне потенциального воздействия водохранилища Нижнебогучанской ГЭС .....	2	90
<i>А. В. Волокитина</i> Разработка определителя типов основных проводников горения .....	6	50
<i>О. А. Гончарова, О. Е. Зотова</i> Сосна кедровая сибирская в урбанизированной среде арктической зоны .....	2	40
<i>А. В. Данчева, С. В. Залесов, В. С. Коровина</i> Взаимосвязи таксационных показателей древостоев с их состоянием в сосновых насаждениях защитного назначения .....	4	58
<i>А. А. Дерюгин, Ю. Б. Глазунов</i> Рост и состояние ели под пологом березняка кисличного в условиях южной тайги Европейской части России .....	2	47
<i>С. В. Жила, И. В. Фуряев, Н. М. Ковалева</i> Оценка запасов лесных горючих материалов в поврежденных полиграфом уссурийским пихтовых древостоях Красноярского края .....	6	76
<i>В. А. Иванов, Г. А. Иванова, Е. О. Бакиева</i> Актуализация региональных шкал пожарной опасности по лесным районам Красноярского края .....	6	39
<i>Г. А. Иванова, В. А. Иванов, А. В. Мусохранова, А. А. Онучин</i> Лесные пожары и причины их возникновения на территории Средней Сибири .....	6	6
<i>А. В. Каракулов, Д. Н. Шауло, Е. А. Шикалова</i> Новая форма таволги извилистой с Западного Саяна .....	2	85
<i>С. Г. Князева</i> Морфолого-анатомические особенности хвои вариаций можжевельника обыкновенного .....	2	76
<i>Н. М. Ковалева, Г. А. Иванова, С. В. Жила</i> Влияние низовых пожаров на живой напочвенный покров в сосняках южной тайги .....	6	98
<i>Р. В. Котельников, А. Н. Чугаев</i> Сравнительная оценка качества индексов пожарной опасности в лесах .....	6	32
<i>И. Н. Кутявин, А. В. Манов, А. Ф. Осипов, К. С. Бобкова</i> Долговременная динамика состава, строения и состояния древостоев северотаежных сосняков на Европейском Северо-Востоке России .....	2	17
<i>Е. В. Лашина</i> Эксплуатационные особенности лесов Дальнего Востока .....	2	56
<i>А. В. Лебедев, В. В. Кузьмичев</i> Таксационные показатели сосновых древостоев по данным долговременных наблюдений .....	2	3
<i>С. С. Макаров, А. М. Антонов, Ю. В. Александрова, О. П. Лебедева, И. Б. Кузнецова</i> Адаптация триплоидной осины к условиям <i>ex vitro</i> с применением гидропонной установки .....	3	27

С. С. Макаров, М. Т. Упадышев, С. А. Родин, Т. А. Макарова, З. А. Самойленко, И. Б. Кузнецова Адаптация растений-регенерантов княженики арктической к условиям <i>ex vitro</i> с применением гидропоники .....	4	75
А. Г. Матвеева, Р. С. Великий, А. Л. Гребенюк Послепожарная сукцессия в хвойно-широколиственных лесах национального парка «Ануйский» .....	6	85
С. О. Медведева, О. Е. Черепанова Таксономические вопросы рода <i>Betula</i> .....	2	65
А. А. Парамонов, В. А. Усольцев, С. В. Третьяков, С. В. Коптев, А. А. Карабан, И. В. Цветков, А. В. Давыдов, И. С. Цепордей Таблица хода роста по фитомассе ивняков Архангельской области .....	2	33
А. И. Петров, С. В. Залесов, В. С. Котова Эффективность создания лесных культур сосны обыкновенной на дражных отвалах .....	3	15
З. З. Рахматуллин, А. Ш. Тимерьянов, И. Р. Рахматуллина, Г. Е. Одинцов, А. К. Габделхаков Динамика смены пород в полезащитных лесных полосах Республики Башкортостан .....	3	21
Ю. В. Салцевич, Л. В. Буряк, А. Н. Головина, Е. А. Кукавская Оценка состояния нарушенных пожарами, рубками и насекомыми-вредителями насаждений предгорий Восточного Саяна .....	6	63
И. М. Секерин, С. В. Залесов, А. М. Ерицов, А. А. Кректунов Опыт тушения торфяных пожаров подтоплением .....	6	119
Е. А. Сурина, Н. С. Минин Формирование смешанных сосново-березовых насаждений со вторым ярусом ели под влиянием рубок ухода .....	2	26
С. В. Третьяков, С. В. Коптев, А. В. Давыдов, М. А. Загородский, И. В. Цветков, А. А. Парамонов, А. А. Карабан Качество древесины осушаемых северотаежных сосняков Архангельской области, определенное экспресс-методом .....	4	64
П. Д. Третьяков, Е. И. Пономарёв Горимость арктической зоны Сибири в условиях климатических изменений XX – начала XXI вв. ....	6	17
В. А. Усольцев, И. С. Цепордей Ранговое распределение фракций фитомассы деревьев в новом освещении .....	4	41
Г. А. Фирсов, К. Г. Ткаченко, А. В. Волчанская, Н. Е. Староверов, А. Ю. Грязнов Кипарисовик тупой в ботаническом саду Петра Великого .....	3	42
Н. Ф. Черноусова Видовой состав и разнообразие сообществ микромаммалий в лесопарковой зоне Екатеринбурга при трансформации лесорастительного сообщества .....	3	34
Т. А. Burenina, E. V. Fedotova, C. F. Zang Altitudinal-belt variability of evapotranspiration of forest ecosystems in the mountains of Southern Siberia .....	4	26

## ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ

А. В. Брюханов, Р. В. Котельников Развитие средств навигации и систем поддержки принятия решений в лесном пожаротушении .....	6	128
Ю. И. Гниненко, Н. В. Ширяева Инвайдеры и особо охраняемые природные территории: почему незванный гость хуже? .....	5	23
С. Э. Некляев, В. А. Липаткин Начальный этап становления науки о защите леса в России .....	1	10
А. В. Пименов, М. А. Кириенко, М. А. Пляшечник, А. А. Анискина, С. Р. Лоскутов Прошлое и настоящее дендрария Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН .....	5	14
Т. С. Седельникова, А. В. Пименов, Е. Н. Муратова Исследование хромосом хвойных при интродукции в ботанических садах, дендрариях и парках .....	5	32
В. В. Усеня Охрана лесов от пожаров в Республике Беларусь: состояние и пути совершенствования .....	6	141



## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

<i>Н. В. Астраханцева, Л. Г. Серая, Н. В. Пашенова, А. А. Коженкова, Ю. Н. Баранчиков</i> Анатомические особенности коры как фактор устойчивости видов пихт к заселению уссурийским полиграфом .....	5	43
<i>И. А. Гончарова, М. А. Кириенко</i> Структура живого напочвенного покрова под пологом различных древесных видов в дендрарии Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН .....	5	75
<i>И. Д. Гродницкая, В. А. Сенашова, М. Ю. Трусова, О. Э. Пашкева, Ю. Н. Баранчиков</i> Состав и фитопатогенные свойства бактерий, выделенных из пораженной бактериальной водянкой древесины сосны сибирской в Прибайкалье .....	1	70
<i>Н. Н. Карпун, Е. И. Шошина, А. А. Плотников, С. Г. Шевелев</i> Выявление трофических связей инвазионных вредителей на базе коллекции дендропарка «Южные культуры» .....	5	60
<i>Н. И. Кириченко, М. А. Рязанова, А. А. Ефременко</i> Трофические связи и вредоносность местных и чужеродных видов минирующих молей-пестрянок в Сибири .....	1	85
<i>Ю. В. Кладько, А. В. Бенькова, Л. Н. Скрипальщикова</i> Влияние климатических факторов на радиальный рост сосны обыкновенной в условиях техногенного загрязнения г. Красноярск .....	5	91
<i>М. И. Седаева</i> Интродукция растений родов форзиция и ясень в дендрарии Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН .....	5	83
<i>А. С. Третьякова, Е. В. Письмаркина, Н. Ю. Груданов, Д. Э. Забужко</i> Состав и инвазионная активность древесно-кустарниковых интродуцентов в Ботаническом саду .....	5	68

## СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ ЛЕСА

<i>С. А. Кривец, И. А. Керчев, Э. М. Бисирова, Н. А. Смирнов, Е. Н. Пац</i> Союзный короед – новый вызов для лесозащиты в Сибири 1 43		
<i>А. В. Селиховкин</i> Нормативно-правовая база лесозащиты и её результативность в регуляции плотности популяций вредителей в таежных лесах .....	1	29

## МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

<i>Д. А. Демидко, А. А. Ефременко, Ю. Н. Баранчиков</i> История массовых размножений сибирского шелкопряда в восточных предгорьях Кузнецкого Алатау: дендрохронологическая реконструкция .....	1	98
<i>Н. В. Пашенова, Л. Г. Серая, Ю. Н. Баранчиков</i> Использование высечек из листьев ясеня для изучения фитопатогенных свойств гриба <i>Hymenoscyphus fraxineus</i> .....	1	58
<i>А. Г. Рассолов, А. С. Шишикин</i> Типология лесных охотничьих угодий .....	4	3
<i>А. В. Софронова, А. В. Волокитина</i> Пирологическая экспертиза нефтегазовых комплексов .....	3	3

## ИЗ ДРУГИХ РАЗДЕЛОВ

<i>Ю. Н. Баранчиков</i> Предисловие научного редактора тематического номера «Сибирского лесного журнала» .....	1	3
<i>Ю. Н. Баранчиков</i> Для чего нам дендрарии? .....	5	3
<i>Г. А. Иванова</i> Предисловие научного редактора номера .....	6	3

## МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

*Г. А. Иванова, Е. К. Кисляхов*

Научное сотрудничество по проблеме лесных пожаров в Сибири  
(к 30-летию Борского международного эксперимента) ..... **6** 155

## НАУЧНОЕ НАСЛЕДИЕ

*И. Н. Третьякова*

Елена Григорьевна Минина – выдающийся исследователь пола и половой репродукции  
лесных древесных видов (к 120-летию со дня рождения) ..... **3** 51

## ПИСЬМА В РЕДАКЦИЮ

*А. А. Иоффе*

Дендрарий Института леса им. В. Н. Сукачева СО РАН как элемент создания  
нового общественного пространства города Красноярск ..... **5** 7

*Н. В. Пашенова, А. А. Перцовая, Ю. Н. Баранчиков*

Проблема индуцированного иммунитета хвойных ..... **5** 10

*Е. А. Шилкина, В. В. Солдатов*

Бактериальная водянка хвойных: рубить нельзя сохранить? ..... **1** 7

## КРАТКОЕ СООБЩЕНИЕ

*Ю. И. Гниненко, А. Г. Раков, А. Ю. Гниненко, Р. И. Гимранов, У. А. Чернова,*

*Е. А. Чилахсаева, Н. В. Ширяева*

Опыт интродукции торимуса – специализированного паразитоида восточной каштановой  
орехотворки в России ..... **1** 111

*Н. И. Кириченко, Ю. Н. Баранчиков*

Обнаружение чужеродного вида молевидных чешуекрылых на кленах в сибирских арборетумах ..... **5** 100

## РЕЦЕНЗИЯ

*Ю. Н. Баранчиков*

Современное пособие по насекомым-вредителям леса ..... **5** 109

*А. А. Онучин, И. Н. Павлов, А. В. Пименов*

Фундаментальный труд по лесоведению и горному лесоводству ..... **2** 99

## ХРОНИКА

*Ю. Н. Баранчиков, Л. Г. Серая*

Третья Всероссийская конференция с международным участием  
«Мониторинг и биологические методы контроля вредителей и патогенов  
древесных растений: от теории к практике», 11–15 апреля 2022 г., Москва ..... **1** 119

## \* ПАМЯТИ УЧЕНОГО

\* Иосиф Афанасьевич Бех (27.10.1927–09.02.2022)

\* *Ю. Н. Баранчиков*

Открыл Америке: памяти Уильяма (Билла) Воллнера – лесного энтомолога

\* *Ю. Н. Баранчиков*

Тамара Анатольевна Вшивкова (1942–2022)

## \* ЮБИЛЕЙ

\* *А. В. Лебедев*

Валерий Васильевич Кузьмичев (к 90-летию со дня рождения)

**УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ И СТАТЕЙ (2023)** ..... **6** 165

\* **ЭКСПЕРТЫ И РЕЦЕНЗЕНТЫ (2023)** ..... **6**

\* Статья публикуется в сетевом издании.

## AUTORS' AND ARTIKLES' INDEX (2023)

### RESEARCH ARTICLES

	N.	P.
<i>G. I. Antonov, V. A. Senashova, G. G. Polyakova, N. V. Pashenova, S. V. Zhila, I. D. Grodnitskaya</i> Influence of Innovative Biofertilizers on Soil Biological Activity and Undergrowth of Scotch Pine After Felling and Fire .....	4	12
<i>G. F. Antonova, V. V. Stasova, A. S. Morozov, S. V. Zhila, O. N. Zubareva</i> Phloem- and Xylogenesis in Scots Pine Stems in the Post-Fire Period .....	6	108
<i>L. I. Borodintseva, V. V. Tarakanov, T. V. Goncharova</i> Productivity and Quality of Seeds of the Siberian Stone Pine on Forest Seed Orchards in the Republic of Altai .....	4	52
<i>T. A. Burenina, E. V. Fedotova, C. F. Zang</i> Altitudinal-Belt Variability of Evapotranspiration of Forest Ecosystems in the Mountains of Southern Siberia .....	4	26
<i>I. Yu. Buyanov, M. E. Konovalova, D. M. Danilina, N. A. Zhilenko, K. V. Shestak</i> Species Composition of Terrestrial Vertebrates in the Zone of Potential Impact of the Nizhneboguchanskaya Hydro Electric Power Reservoir .....	2	90
<i>N. F. Chernousova</i> Species Composition and Diversity of Micromammals Communities in Forest Park Zone of Yekaterinburg with Transformation of Forest Plant Community .....	3	34
<i>A. Goncharova, O. E. Zotova</i> Siberian Stone Pine in Urbanized Environment of the Arctic Zone (Apatity, Murmansk Oblast) .....	2	40
<i>A. V. Dancheva, S. V. Zalesov, V. S. Korovina</i> Relationship of Forest Survey Parameters with Indicators of Condition in Pine Protective Stands .....	4	58
<i>A. A. Deryugin, Yu. B. Glazunov</i> The Growth and State of Spruce under the Canopy of Oxalis Birch Forests in the Southern Taiga of the European Part of Rus .....	2	47
<i>G. A. Firsov, K. G. Tkachenko, A. V. Volchanskaya, N. E. Staroverov, A. Yu. Gryaznov</i> <i>Chamaecyparis obtusa</i> in Peter the Great Botanical Garden .....	3	42
<i>V. A. Ivanov, G. A. Ivanova, E. O. Baksheeva</i> Updating Regional Fire Hazard Scales for Forest Areas of Krasnoyarsk Krai .....	6	39
<i>G. A. Ivanova, V. A. Ivanov, A. V. Musokhranova, A. A. Onuchin</i> Forest Fires and the Causes of Their Occurrence in Central Siberia .....	6	3
<i>E. V. Lashina</i> Operational Features of the Far East Forests .....	2	56
<i>A. V. Karakulov, D. N. Shaulo, E. A. Shikalova</i> A New Form of <i>Spiraea flexuosa</i> Fisch. ex Cambess. (Rosaceae Juss.) from Western Sayan .....	2	85
<i>S. G. Knyazeva</i> Morphological and Anatomical Features of the Needles of Intraspecific Variations of Common Juniper .....	2	76
<i>R. V. Kotelnikov, A. N. Chugaev</i> Comparative Estimation of the Quality of Fire Danger Indexes in Forests .....	6	32
<i>N. M. Kovaleva, G. A. Ivanova, S. V. Zhila</i> The Impact of Surface Fires on Ground Cover in Pine Forests of Southern Taiga .....	6	98
<i>I. N. Kutyavin, A. V. Manov, A. F. Osipov, K. S. Bobkova</i> Long-Term Dynamics of the Composition, Structure and State of Tree Stands of Northern Taiga Pine Forests in the European North-East of Russia .....	2	17
<i>A. V. Lebedev, V. V. Kuzmichev</i> Forest Survey Parameters of Pine Tree Stands According to Long-Term Observation Data .....	2	3
<i>S. S. Makarov, A. M. Antonov, Yu. V. Alexandrova, O. P. Lebedeva, I. B. Kuznetsova</i> Adaptation of Triploid Aspen to <i>ex vitro</i> Conditions Using a Hydroponic System .....	3	27
<i>S. S. Makarov, M. T. Upadyshev, S. A. Rodin, T. A. Makarova, Z. A. Samoylenko, I. B. Kuznetsova</i> Adaptation of Regenerated Plants of <i>Rubus arcticus</i> L. to <i>ex vitro</i> Conditions Using Hydroponics .....	4	75

<i>A. G. Matveeva, R. S. Velikiy, A. L. Grebenyuk</i> Post-Fire Succession in Coniferous-Broad-Leaved Forests of the Anyuskiy National Park .....	<b>6</b>	<b>85</b>
<i>S. O. Medvedeva, O. E. Cherepanova</i> Taxonomic Issues of the Genus <i>Betula</i> .....	<b>2</b>	<b>65</b>
<i>A. A. Paramonov, V. A. Usoltsev, S. V. Tretyakov, S. V. Koptev, A. A. Karaban, I. V. Tsvetkov, A. V. Davydov, I. S. Tsepordey</i> Yield Table of Willow Stands' Phytomass of Arkhangelsk Oblast .....	<b>2</b>	<b>33</b>
<i>A. I. Petrov, S. V. Zalesov, V. S. Kotova</i> An Efficiency of Creation of Scots Pine Forest Crops on Dredge Dumps .....	<b>3</b>	<b>15</b>
<i>Z. Z. Rakhmatullin, A. Sh. Timer'yanov, I. R. Rakhmatullina, G. E. Odintsov, A. K. Gabdelkhakov</i> Dynamics of the Tree Species' Change in the Field-Protective Forest Belts of the Republic of Bashkortostan .....	<b>3</b>	<b>21</b>
<i>Yu. V. Saltsevich, L. V. Buryak, A. N. Golovina, E. A. Kukavskaya</i> Assessment of the State of Forests Disturbed by Fires, Logging, and Insects in the Foothills of the Eastern Sayan Mountains .....	<b>6</b>	<b>63</b>
<i>I. M. Sekerin, S. V. Zalesov, A. M. Eritsov, A. A. Krektunov</i> An Experience in Extinguishing Peat-Bog Fires by Flooding .....	<b>6</b>	<b>119</b>
<i>E. A. Surina, N. S. Minin</i> Mixed Pine-Birch Stands with a Second Storey of Spruce, Forming under the Influence of Thinning in North Taiga Forest Region of Arkhangelsk Oblast .....	<b>2</b>	<b>26</b>
<i>S. V. Tretyakov, S. V. Koptev, A. V. Davydov, M. A. Zagorodskiy, I. V. Tsvetkov, A. A. Paramonov, A. A. Karaban</i> The Quality of Wood of Drained North-Taiga Pine Forests of Arkhangelsk Oblast, Determined by Express Method .....	<b>4</b>	<b>64</b>
<i>P. D. Tretyakov, E. I. Ponomarev</i> Wildfires of the Arctic Zone of Siberia Under the Conditions of Climatic Changes of the XX – Early XXI Centuries .....	<b>6</b>	<b>17</b>
<i>V. A. Usoltsev, I. S. Tsepordey</i> Rank Distribution of a Tree Phytomass Fractions in New Interpretation .....	<b>4</b>	<b>41</b>
<i>A. V. Volokitina</i> Development of an Identifier of Primary Fire Carriers .....	<b>6</b>	<b>50</b>
<i>S. V. Zhila, I. V. Furyaev, N. M. Kovaleva</i> Assessment of Stocks of Forest Combustible Materials in Fir Stands, Damaged by the Four-Eyed Fir Bark Beetle in Krasnoyarsk Krai .....	<b>6</b>	<b>76</b>
<b>SUMMARIZING ARTICLE</b>		
<i>A. V. Bryukhanov, R. V. Kotelnikov</i> Development of Navigation Aids and Decision Support Systems in Forest Firefighting .....	<b>6</b>	<b>128</b>
<i>Yu. I. Gninenko, N. V. Shiryaeva</i> Invaders and Specially Protected Natural Areas: Why is an Intruder Worse? .....	<b>5</b>	<b>23</b>
<i>S. E. Neklyayev, V. A. Lipatkin</i> The Initial Stage of Formation of the Forest Protection Science in Russia .....	<b>1</b>	<b>10</b>
<i>A. V. Pimenov, M. A. Kirienko, M. A. Plyashechnik, A. A. Aniskina, S. R. Loskutov</i> The Past and the Present of the Arboretum of V. N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences .....	<b>5</b>	<b>14</b>
<i>T. S. Sedel'nikova, A. V. Pimenov, E. N. Muratova</i> Studies on Conifer Chromosomes Under Introduction in Botanical Gardens, Arboretums and Parks .....	<b>5</b>	<b>32</b>
<i>V. V. Usenya</i> Protection of Forests from Fires in the Republic of Belarus: Status and Ways for Improvement .....	<b>6</b>	<b>141</b>
<b>EXPERIMENTAL ARTICLES</b>		
<i>N. V. Astrakhantseva, L. G. Seraya, N. V. Pashenova, A. A. Kozhenkova, Yu. N. Baranchikov</i> Anatomical Features of the Bark as a Factor of Resistance of Fir Species to Population by the Four-Eyed Fir Bark Beetle .....	<b>4</b>	<b>43</b>

<i>I. A. Goncharova, M. A. Kirienko</i> The Structure of Living Ground Cover under the Various Tree Species Canopy in the Arboretum of V. N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences .....	4	75
<i>I. D. Grodnitskaya, V. A. Senashova, M. Yu. Trusova, O. E. Pashkeeva, Yu. N. Baranchikov</i> Composition and Phytopathogenic Properties of Bacteria Isolated from <i>Pinus sibirica</i> Du Tour Wood Affected by Bacterial Wetwood in the Baikal Region .....	1	70
<i>D. A. Demidko, A. A. Efremenko, Yu. N. Baranchikov</i> History of the Siberian Moth Outbreaks at the Eastern Foothills of Kuznetskiy Alatau Mountains: Dendrochronological Reconstruction .....	1	98
<i>N. N. Karpun, E. I. Shoshina, A. A. Plotnikov, S. G. Shevelev</i> Identification of Invasive Pests Trophic Associations on the Basis of the Collection of the Arboretum "Southern Cultures" .....	4	60
<i>N. I. Kirichenko, M. A. Ryazanova, A. A. Efremenko</i> Trophic Associations and Harmfulness of Native and Alien Leaf Mining Moth Species in Siberia .....	1	85
<i>Yu. V. Klad'ko, A. V. Ben'kova, L. N. Skripal'shchikova</i> Influence of Climatic Factors on Radial Growth of Scots Pine under the Conditions of Technogenic Pollution in the City of Krasnoyarsk .....	4	91
<i>M. I. Sedaeva</i> Introduction of Plants of the Genera Forsythia and Fraxinus in the Arboretum of V. N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences .....	4	83
<i>A. S. Tret'yakova, E. V. Pis'markina, N. Yu. Grudanov, D. E. Zabuzhko</i> Composition and Invasion Activity of Woody Plants in the Botanical Garden of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences .....	4	68

## CONTEMPORARY PROBLEMS OF FOREST PROTECTION

<i>S. A. Krivets, I. A. Kerchev, E. M. Bisirova, N. A. Smirnov, E. N. Pats</i> Small Spruce Bark Beetle) as a New Challenge for Forest Protection in Siberia .....	1	43
<i>A. V. Selikhovkin</i> Normative-Legal Basis of Forest Protection and Its Efficiency in Regulation of Pest Population Density in Taiga Forests .....	1	29

## METHODS OF THE STUDIES

<i>N. V. Pashenova, L. G. Seraya, Yu. N. Baranchikov</i> Using Ash Leaf Cut-Offs in Studying the Fungus <i>Hymenoscyphus fraxineus</i> Phytopathogenic Properties .....	1	58
<i>A. G. Rassolov, A. S. Shishikin</i> Typology of Forest Hunting Grounds .....	4	3
<i>A. V. Sofronova, A. V. Volokitina</i> Pyrological Expertise of Oil and Gas Complexes .....	3	3

## ARTIKLES FROM ORHES PARTS

<i>Yu. N. Baranchikov</i> Foreword From the Scientific Editor for Thematic Issue of the Siberian Journal of Forest Science .....	1	3
<i>Yu. N. Baranchikov</i> Why Do We Need Arboretums? 5 3		
<i>G. A. Ivanova</i> Foreword from the Scientific Editor for Thematic Issue of the Siberian Journal of Forest Science .....	6	3

## INTERATIONAL COOPERATION

<i>G. A. Ivanova, E. K. Kisilyakhov</i> Scientific Cooperation on the Problem of Forest Fires in Siberia (to the 30 <sup>th</sup> Anniversary of the Bor International Experiment) .....	6	155
--	---	-----

## LETTERS TO THE EDITORS

*A. A. Ioffe*

Arboretum of V. N. Sukachev Institute of Forest, Siberian Branch, Russian Academy of Sciences  
as an Element of Creating New Public Space in the city of Krasnoyarsk ..... 5 7

*N. V. Pashenova, A. A. Pertsovaya, Yu. N. Baranchikov*

The Problem of Induced Immunity in Conifers ..... 5 10

*E. A. Shilkina, V. V. Soldatov*

Bacterial Wetwood in Conifers: to Cut or Preserve? ..... 1 7

## SHORT COMMUNICATION

*Yu. I. Gninenko, A. G. Rakov, A. Yu. Gninenko, R. I. Gimranov, U. A. Chernova,*

*E. A. Chilakhsaeva, N. V. Shiryayeva*

Experience of Introducing the Torymid wasp as the Specialized Parasitoid Against  
the Invasive Chestnut Gall Wasp *Dryocosmus kuriphilus* Yasumatsu in Russia ..... 1 111

*N. I. Kirichenko, Yu. N. Baranchikov*

The Detection of an Alien Lepidopteran Species on Maples in Two Siberian Arboreta ..... 5 100

## REVIEW

*Yu. N. Baranchikov*

Modern Textbook on Forest Insect Pests ..... 5 109

*A. A. Onuchin, I. N. Pavlov, A. V. Pimenov*

Fundamental Work on Forest Science and Mountain Forestry ..... 2 99

## CHRONICLE

*Yu. N. Baranchikov, L. G. Seraya*

Third All-Russian Conference with International Participation

«Monitoring and Biological Methods for Controlling Pests and Pathogens

of Woody Plants: from Theory to Practice», 11–15 April, 2022, Moscow ..... 1 119

## SCIENTIFIC HERITAGE

*I. N. Tret'yakova*

Elena Grigor'evna Minina – Outstanding Researcher of Sex and Sexual Reproduction

of Forest Tree Species (To 120 Years of Birthday) ..... 3 51

## \* IN MEMORIAM

\* *Yu. N. Baranchikov*

Discovered America: in Memory of William (Bill) Wollner, a Forest Entomologist

\* Iosif Afanas'evich Bekh (27.10.1927–09.02.2022)

\* *Yu. N. Baranchikov*

Tamara Anatol'evna Vshivkova (1942–2022)

## \* JUBILEE

\* *A. V. Lebedev*

Valeriy Vasil'evich Kuzmichev (to 90<sup>th</sup> Birthday)

**AUTHORS' AND ARTICLES' INDEX (2023)** ..... 6 169

\* **EXPERTS AND REVIEWERS (2023)** ..... 6

---

\* Article is published in online edition.

## CONTENTS

<i>G. A. Ivanova</i> Foreword from the Scientific Editor for Thematic Issue of the Siberian Journal of Forest Science .....	3
<b>RESEARCH ARTICLES</b>	
<i>G. A. Ivanova, V. A. Ivanov, A. V. Musokhranova, A. A. Onuchin</i> Forest Fires and the Causes of Their Occurrence in Central Siberia .....	6
<i>P. D. Tretyakov, E. I. Ponomarev</i> Wildfires of the Arctic Zone of Siberia Under the Conditions of Climatic Changes of the XX – Early XXI Centuries .....	17
<i>R. V. Kotelnikov, A. N. Chugaev</i> Comparative Estimation of the Quality of Fire Danger Indexes in Forests .....	32
<i>V. A. Ivanov, G. A. Ivanova, E. O. Baksheeva</i> Updating Regional Fire Hazard Scales for Forest Areas of Krasnoyarsk Krai .....	39
<i>A. V. Volokitina</i> Development of an Identifier of Primary Fire Carriers .....	50
<i>Yu. V. Saltsevich, L. V. Buryak, A. N. Golovina, E. A. Kukavskaya</i> Assessment of the State of Forests Disturbed by Fires, Logging, and Insects in the Foothills of the Eastern Sayan Mountains .....	63
<i>S. V. Zhila, I. V. Furyaev, N. M. Kovaleva</i> Assessment of Stocks of Forest Combustible Materials in Fir Stands, Damaged by the Four-Eyed Fir Bark Beetle in Krasnoyarsk Krai .....	76
<i>A. G. Matveeva, R. S. Velikiy, A. L. Grebenyuk</i> Post-Fire Succession in Coniferous-Broad-Leaved Forests of the Anyuskiy National Park .....	85
<i>N. M. Kovaleva, G. A. Ivanova, S. V. Zhila</i> The Impact of Surface Fires on Ground Cover in Pine Forests of Southern Taiga .....	98
<i>G. F. Antonova, V. V. Stasova, A. S. Morozov, S. V. Zhila, O. N. Zubareva</i> Phloem- and Xylogenesis in Scots Pine Stems in the Post-Fire Period .....	108
<i>I. M. Sekerin, S. V. Zalesov, A. M. Eritsov, A. A. Krektunov</i> An Experience in Extinguishing Peat-Bog Fires by Flooding .....	119
<b>SUMMARIZING ARTICLES</b>	
<i>A. V. Bryukhanov, R. V. Kotelnikov</i> Development of Navigation Aids and Decision Support Systems in Forest Firefighting .....	128
<i>V. V. Usenya</i> Protection of Forests from Fires in the Republic of Belarus: Status and Ways for Improvement .....	141
<b>INTERATIONAL COOPERATION</b>	
<i>G. A. Ivanova, E. K. Kisilyakhov</i> Scientific Cooperation on the Problem of Forest Fires in Siberia (to the 30th Anniversary of the Bor International Experiment) .....	155
<b>AUTHORS' AND ARTICLES' INDEX (2023)</b> .....	165
<b>* EXPERTS AND REVIEWERS (2023)</b>	

---

\* Article is published in online edition.

## СОДЕРЖАНИЕ

<i>Г. А. Иванова</i> Предисловие научного редактора номера .....	3
<b>ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ СТАТЬИ</b>	
<i>Г. А. Иванова, В. А. Иванов, А. В. Мусохранова, А. А. Онучин</i> Лесные пожары и причины их возникновения на территории Средней Сибири .....	6
<i>П. Д. Третьяков, Е. И. Пономарёв</i> Горимость арктической зоны Сибири в условиях климатических изменений XX – начала XXI вв. ....	17
<i>Р. В. Котельников, А. Н. Чугаев</i> Сравнительная оценка качества индексов пожарной опасности в лесах .....	32
<i>В. А. Иванов, Г. А. Иванова, Е. О. Бакшеева</i> Актуализация региональных шкал пожарной опасности по лесным районам Красноярского края .....	39
<i>А. В. Волокитина</i> Разработка определителя типов основных проводников горения .....	50
<i>Ю. В. Салцевич, Л. В. Буряк, А. Н. Головина, Е. А. Кукавская</i> Оценка состояния нарушенных пожарами, рубками и насекомыми-вредителями насаждений предгорий Восточного Саяна .....	63
<i>С. В. Жила, И. В. Фуряев, Н. М. Ковалева</i> Оценка запасов лесных горючих материалов в поврежденных полиграфом уссурийским пихтовых древостоях Красноярского края .....	76
<i>А. Г. Матвеева, Р. С. Великий, А. Л. Гребенюк</i> Послепожарная сукцессия в хвойно-широколиственных лесах на примере национального парка «Ануйский» .....	85
<i>Н. М. Ковалева, Г. А. Иванова, С. В. Жила</i> Влияние низовых пожаров на живой напочвенный покров в сосняках южной тайги .....	98
<i>Г. Ф. Антонова, В. В. Стасова, А. С. Морозов, С. В. Жила, О. Н. Зубарева</i> Флоэмо- и ксилогенез в стволах сосны обыкновенной в постпирогенный период .....	108
<i>И. М. Секерин, С. В. Залесов, А. М. Ерицов, А. А. Крехтунов</i> Опыт тушения торфяных пожаров подтоплением .....	119
<b>ОБЗОРНЫЕ СТАТЬИ</b>	
<i>А. В. Брюханов, Р. В. Котельников</i> Развитие средств навигации и систем поддержки принятия решений в лесном пожаротушении .....	128
<i>В. В. Усень</i> Охрана лесов от пожаров в Республике Беларусь: состояние и пути совершенствования .....	141
<b>МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО</b>	
<i>Г. А. Иванова, Е. К. Кисляхов</i> Научное сотрудничество по проблеме лесных пожаров (к 30-летию Борского международного эксперимента) .....	155
<b>УКАЗАТЕЛЬ АВТОРОВ И СТАТЕЙ (2023)</b> .....	165
<b>* ЭКСПЕРТЫ И РЕЦЕНЗЕНТЫ (2023)</b>	

\* Статья публикуется в сетевом издании.