

Федеральное бюджетное учреждение  
"Всероссийский научно-исследовательский институт лесоводства и механизации  
лесного хозяйства"

На правах рукописи

**Котельников Роман Владимирович**

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ  
ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ЛЕСНЫХ  
ПОЖАРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ  
ТЕХНОЛОГИЙ**

4.1.6. Лесоведение, лесоводство, лесные культуры, агролесомелиорация,  
озеленение, лесная пирология и таксация

Диссертация на соискание ученой степени  
доктора сельскохозяйственных наук

Москва – 2026

## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
ОГЛАВЛЕНИЕ .....	2
Введение.....	4
ГЛАВА 1. Системный анализ проблемы информационного обеспечения охраны лесов от пожаров .....	16
1.1 Закономерности динамики лесопожарной ситуации в Российской Федерации и прогностические оценки ее развития.....	16
1.2 Общая характеристика организационной структуры системы охраны лесов от пожаров .....	20
1.3 Оценка текущего состояния информационного обеспечения охраны лесов от пожаров .....	29
1.4 Приоритетные направления развития информационного обеспечения управленческих решений в сфере охраны лесов от пожаров.....	80
ГЛАВА 2. Научная гипотеза, методология и программа исследований .....	84
2.1 Обоснование научной гипотезы исследований, цели и задачи диссертационной работы.....	84
2.2 Методология исследований .....	88
ГЛАВА 3. Совершенствование методов оценки горимости лесов .....	92
3.1 Исследование формы распределения значений частоты и площади возникновения пожаров .....	92
3.2 Статистические методы выявления искажений данных о количестве лесных пожаров .....	95
3.3 Оценка цикличности периодов со значительной площадью, пройденной огнем .....	106
3.4 Метод оценки уровня горимости лесов в регионах на основе отклонения значений площадей, пройденных огнем от среднемноголетних значений .....	114
ГЛАВА 4. Совершенствование системы оценки пожарной опасности в лесах ...	123

4.1	Применимость действующих методик оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды.....	125
4.2	Обоснование модифицированной методики расчета региональных шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды.....	134
4.3	Эффективность применения предлагаемых региональных шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды .....	148
ГЛАВА 5. Методы оценки основных параметров пожароопасных сезонов в лесах и обоснование краткосрочного прогноза возникновения лесных пожаров .....		158
5.1	Методы оценки основных параметров пожароопасных сезонов в лесах ....	158
5.2	Краткосрочное прогнозирование возникновения лесных пожаров .....	168
ГЛАВА 6. Методы оценки эффективности системы охраны лесов от пожаров..		192
6.1	Оценка сравнительной эффективности организации охраны лесов от пожаров .....	192
6.2	Расчёт оптимальной площади зон контроля лесных пожаров .....	200
6.3	Статистические методы оценки интенсивности мер по тушению лесных пожаров .....	209
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....		223
ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ .....		231
ПЕРЕЧЕНЬ ТЕРМИНОВ.....		235
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....		237
ПРИЛОЖЕНИЯ.....		286

## **ВВЕДЕНИЕ**

**Актуальность темы исследования.** Лесные пожары в Российской Федерации, как и во многих других лесных странах, являются одним из основных факторов ухудшения состояния и гибели лесных насаждений. По данным ФАО, в мире ежегодные площади лесов, пройденные лесными пожарами, достигают 98 млн га [1]. В Российской Федерации, согласно данным отраслевой отчетности, в последнем десятилетии ежегодно возникает 9-16 тыс. лесных пожаров на площади 1,3 – 10 млн га. По другим данным, получаемым в результате дистанционного зондирования Земли, ежегодная площадь, пройденная огнем, колеблется в пределах 5-25 млн га [2]. Величина ущерба от лесных пожаров только от потери древесины может достигать десятков миллиардов рублей [3]. При этом на фоне климатических изменений наблюдается почти трехкратное увеличение доли крупных лесных пожаров, ежегодные площади которых составляют 90 – 95 % общей площади пожаров. К концу текущего столетия с повышением засушливости климата и возрастанием частоты катастрофических лесных пожаров на преобладающей части территории России прогнозируется удвоение площади лесов с максимальной пожарной опасностью, представляющих реальную угрозу окружающей природной среде, условиям жизни людей и объектам экономики [4–7].

В связи с этим одной из главных задач в области лесной политики является повышение эффективности системы охраны лесов от пожаров, к одному из факторов успешного функционирования которой относится информационное обеспечение, направленное на поддержку управленческих решений по всему спектру лесопожарной деятельности. В первую очередь это относится к долгосрочному планированию и прогнозированию охраны лесов (лесопожарное зонирование, лесопожарные формирования и нормативы их обеспеченности, объемы финансирования), принятию текущих решений (оценка и прогноз

лесопожарной ситуации, расчет сил и средств, необходимых для тушения лесного пожара; оценка целесообразности тушения лесных пожаров на удаленных и труднодоступных территориях, прогнозы потенциальных затрат на тушение пожаров и потенциального вреда от пожаров) и итоговым оценкам действий лесопожарных служб (эффективность организации охраны лесов от пожаров, оценка фактических затрат на тушение и вреда, возникшего вследствие пожара; достижение целевых показателей, оценка деятельности должностных лиц, формирование статистических сведений и др.). Бурное развитие современных информационных технологий, в том числе с применением искусственного интеллекта, открывает возможности перехода на принципиально новый уровень прикладной аналитики, обеспечивающей на основе обработки и анализа больших массивов исходных данных, совершенствование действующих и создание новых нормативов в сфере охраны лесов от пожаров, включая лесопожарное зонирование, оценку горимости лесов и пожарной опасности в лесах, прогнозирование возникновения лесных пожаров и динамики лесопожарной ситуации, анализ эффективности системы охраны лесов от пожаров, выявление искажений в лесопожарной отчетности. При этом решение указанных вопросов зависит не столько от аппаратного обеспечения, сколько от соответствующих актуальных алгоритмов и методик расчетов, созданию которых посвящена настоящая диссертационная работа.

#### **Степень научной разработанности темы исследования.**

Лесопирологическое направление является одним из самых наукоемких и проработанных в лесоводственной науке, основные принципы которого были заложены в фундаментальных трудах М.Е. Ткаченко [8], В.Г. Нестерова [9, 10], И.С. Мелехова [11, 12]. Природа лесных пожаров, закономерности их возникновения и горимости, методология оценки пожарной опасности в лесах отражены в многочисленных научных исследованиях, среди которых следует выделить работы Н.П. Курбатского [13–15], С.М. Вонского [16, 17], Софронова [18–20], М.Д. Евдокименко [21], Г.Н. Коровина и др. [22], Г.П. Телицына [23, 24],

М.А. Шешукова [25, 26], С.В. Залесова [27], И.М. Губенко, К.Г. Рубинштейна [28], Р.Л. Белоусова и др. [29], А.В. Волокитиной [30, 31], В.А. Иванова и др. [32, 33], Л.В. Буряк и др. [34], И.М. Секерина и др. [35], J.M. Torres-Rojo [36].

Н.П. Курбатским [37], Г.Н. Коровиным [38, 39], О.В. Воробьевым, Э.Н. Валендиком [40], Г.А. Доррером [41], А.М. Гришиным [42], А.А. Кулешовым [43], М.С. Вдовенко [44], В.А. Перминовым [45], А.В. Волокитиной и др. [46], D.G. Anderson [47], D. Morvan, J.L. Dupuy [48], C. Hoffman [49] и др. предложены модели прогноза возникновения лесных пожаров и динамики их развития.

В последние десятилетия для целей охраны лесов от пожаров и прежде всего при мониторинге пожарной опасности в лесах и лесных пожаров используются методы дистанционного зондирования Земли из космоса (Е.А. Лупян, С.А. Барталёв, И.В. Балашов, Г.А. Доррер, Д.В. Ершов, Ф.В. Стыщенко, А.И. Сухинин, С.А. Хвостиков и др.) [2, 50–53].

Существенно меньше исследований посвящено изучению вопросов лесопожарного зонирования лесного фонда и организации на его основе управления охраной лесов от пожаров (Ю.З. Шур, А.С. Захаренко, Е.П. Кузьмичев [54], А.С. Захаренко и др. [55]), стратегического планирования в области охраны лесов от пожаров и оценки эффективности деятельности лесопожарных формирований (Г.Н. Коровин, Л.М. Абрамов, Г.Д. Главацкий, В.М. Груманс, А.В. Волокитина, Т.М. Софронова [56–58]). Имеются научные работы в области оценки объёма необходимых сил и средств для тушения лесных пожаров (Г.П. Телицын, С.И. Душа-Гудым [59, 60] и т.д.).

При этом многолетний отечественный опыт организации и осуществления мероприятий охраны лесов от пожаров, а также нормы действующего лесного законодательства свидетельствуют о необходимости корректировки созданных ранее и разработки новых методов и нормативов, направленных на совершенствование информационной базы, которая позволит повысить в соответствии с современными требованиями, качество управленческих решений по обеспечению пожарной безопасности в лесах.

**Цель исследования:** Разработка методов аналитической обработки лесопожарной информации, включающих прогнозирование основных параметров пожароопасного сезона, краткосрочного прогноза частоты возникновения лесных пожаров и оценку эффективности системы охраны лесов от пожаров.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих **задачи:**

- исследовать мировой опыт работы в области интеллектуальной обработки информации и систем информационной поддержки управленческих решений;
- провести системный анализ проблемы информационного обеспечения охраны лесов от пожаров;
- установить закономерности горимости лесов и разработать алгоритмы ее оценки;
- провести анализ действующей системы оценки пожарной опасности в лесах и обосновать подходы к совершенствованию методики оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды;
- выявить особенности пожароопасного сезона в лесах и разработать алгоритмы оценки его основных параметров;
- обосновать алгоритм краткосрочного прогноза частоты возникновения лесных пожаров;
- оценить состояние системы охраны лесов от пожаров и разработать методику оценки эффективности охраны лесов от пожаров в регионах Российской Федерации.

**Объектом исследований** по теме диссертационной работы являются отдельные компоненты системы охраны лесов от пожаров Российской Федерации и субъектов Российской Федерации, связанные с вопросами организации охраны лесов, оценки горимости территорий и лесопожарной ситуации, степени пожарной опасности в лесах, рисками возникновения лесных пожаров и их развития, лесопожарного зонирования и эффективности мер по тушению пожаров.

**Предметом исследования** являются закономерности возникновения

и развития лесных пожаров.

### **Методология и методы исследования.**

Базовым методологическим принципом исследований стала интеграция, на основе системного анализа, методических приемов лесной пирологии и информационных технологий при междисциплинарном подходе к решению проблем охраны лесов от пожаров.

Специфика поставленных научных задач, согласно выбранной методологии, потребовала использования для их решения отдельных (специальных) методов обработки информации и соответствующего инструментария. При этом ключевыми методами стали: абстрактно-логический метод, функциональное моделирование, математическое моделирование, вычислительный эксперимент, статистические методы.

**Теоретическая и практическая значимость.** На основе статистического анализа больших объёмов данных, полученных, в том числе, при дистанционном зондировании Земли из космоса, доказано, что форма распределения значений ряда показателей горимости лесов (частота возникновения пожаров, площадь, пройденная огнем, процент обнаружения лесных пожаров) близка к логнормальной. Это позволяет при обработке лесопожарной информации и создании информационных продуктов для информационной поддержки управленческих решений использовать математический аппарат, применимый к "нормально распределенным" данным. В целом результаты работ закладывают основу целого направления развития информационных технологий в охране лесов, которое можно условно назвать "продвинутой лесопожарной аналитикой".

Используя выявленные закономерности, удалось оценить цикличность пожаров, а также применить метод выявления аномалий в данных. Это позволило существенно увеличить точность прогнозирования основных параметров пожароопасного сезона и краткосрочного прогноза частоты возникновения лесных пожаров.

**Научная новизна работы:**

1. Разработана система перспективных мер, направленных на повышение эффективности информационного обеспечения охраны лесов от пожаров для различных уровней исполнительных органов государственной власти в области лесных отношений.

2. Доказано, что форма распределения значений площадей лесных пожаров в больших выборках тем ближе к логнормальной, чем интенсивнее меры, принимаемые для их тушения.

3. Доказано, что для достоверной оценки горимости лесов оптимальная глубина ретроспективной выборки исходных данных для большей части территорий лесного фонда должна составлять не менее 11 лет (или быть кратной 11 годам, например, 22 года, 33 года и т.д.).

4. Разработан метод дифференциации регионов по горимости лесов на основе величины отклонения показателей горимости лесов от среднемноголетнего значения (с учетом обоснованной глубины ретроспективного периода оценки 11 лет).

5. Разработан метод прогнозирования основных параметров пожароопасного сезона и специальный показатель для оценки его результативности.

6. Доказана необходимость разработки региональных шкал пожарной опасности в лесах по условиям погоды, предложена модифицированная методика их расчета, обоснованы для регионов границы классов пожарной опасности в лесах по условиям погоды и экономическая целесообразность перехода к ним.

7. Предложен метод оценки достоверности ретроспективных сведений о количестве зарегистрированных лесных пожаров в регионах, основанный на оценке отклонения формы распределения значений в большой выборке от логнормальной формы распределения.

8. Разработаны методические подходы краткосрочного прогноза частоты возникновения лесных пожаров с учетом лесорастительных условий территории и горимости лесов.

9. Выявлена взаимосвязь доли активно охраняемой площади и показателя эффективности организации охраны лесов от пожаров.

**Внедрение результатов.** Материалы диссертации использованы при подготовке приказа Рослесхоза от 26.01.2021 № 22 "Об установлении лесопожарного зонирования земель лесного фонда и признании утратившим силу приказа Федерального агентства лесного хозяйства от 05.08.2020 № 753", а также при подготовке приказа Рослесхоза от 31.07.2023 № 847 "Об утверждении Методики расчета показателей государственной программы Российской Федерации "Развитие лесного хозяйства", утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 15.04.2014 № 318".

Часть материалов использована при подготовке пакета подзаконных актов в развитие Федерального закона от 24.07.2023 № 343-ФЗ "О внесении изменений в Лесной кодекс Российской Федерации и отдельные законодательные акты Российской Федерации", в частности:

постановление Правительства Российской Федерации от 27.12.2023 № 2332 "Об утверждении Правил разработки и утверждения плана противопожарного обустройства лесов на территории лесничества и его формы, Правила разработки плана противопожарного обустройства лесов на территории субъекта Российской Федерации и его формы";

приказ Рослесхоза от 27.12.2023 № 1174 "Об установлении нормативов и критериев выделения зон контроля лесных пожаров";

приказ Рослесхоза от 26.12.2023 № 1168 "Об установлении критериев принятия решения о применении сил и средств федерального государственного бюджетного учреждения, указанного в статье 53.9 Лесного кодекса Российской Федерации, необходимых для выполнения работ по охране лесов от пожаров в целях осуществления мер экстренного реагирования на лесные пожары".

Полученные данные и предложенные разработки могут быть использованы в текущей деятельности федеральных и региональных органов исполнительной власти, уполномоченных в области лесных отношений, а также подведомственных

им лесопожарных формирований для информационной поддержки управленческих решений при организации и обеспечении мероприятий по охране лесов от пожаров, а также в учебном процессе при подготовке специалистов для лесного хозяйства. В частности:

разработанные в ходе исследования методики и алгоритмы могут быть внедрены в Информационную систему дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз);

разработанная методика классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды оформлена в формате проекта приказа Минприроды России и проходит юридические процедуры межведомственного согласования;

прогноз основных параметров пожароопасного сезона может использоваться для долгосрочного стратегического планирования мероприятий по организации охраны лесов от пожаров;

краткосрочный прогноз частоты возникновения лесных пожаров может быть использован при принятии решений о межрегиональном маневрировании ресурсами пожаротушения.

показатель эффективности организации охраны лесов от пожаров может стать ключевой метрикой в подсистеме интеллектуального анализа Федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ПИА ФГИС ЛК) и использоваться Рослесхозом для планирования контрольно-надзорных мероприятий в сфере охраны лесов от пожаров.

Отдельные положения диссертационной работы использованы при выполнении НИР в рамках государственных заданий Рослесхоза:

проект рег. № НИОКТР 123042500069-0 "Разработка научно обоснованных предложений по совершенствованию обеспечения мероприятий по охране лесов от пожаров в зависимости от условий погоды на основе цифровых технологий" (2023 год);

проект рег. № НИОКТР 122020400179-6 "Разработка научно обоснованных

предложений по повышению эффективности охраны лесов от пожаров с использованием цифровых технологий" (2022, 2024, 2025 годы).

Кроме того, отдельные положения диссертационной работы использованы при выполнении научных исследований в рамках внебюджетных тематик (полученных на конкурсной основе):

государственный контракт с Минприроды России от 04.09.2017 № ИВ-16-23/71 "Научные исследования в области оценки воздействия лесных пожаров на леса и подготовка научно-обоснованных предложений по совершенствованию законодательства в области оценки прогнозируемого вреда, причиненного лесам лесными пожарами", (2018 год);

государственный контракт с Минприроды России от 30.07.2019 № 0373100032219000019 "Разработка научно обоснованных предложений по методике выделения зон контроля лесных пожаров", (2019-2020 годы);

государственный контракт с Республикой Саха (Якутия) от 15.06.2020 № 0816500000620005172 "Разработка научно обоснованных предложений по распределению сил и средств лесопожарных формирований по уровням лесопожарной охраны для контроля пожарной обстановки на землях лесного фонда на труднодоступных и удаленных территориях Республики Саха (Якутия)" (2020 год);

договор с ООО НПП "АВАКС-ГеоСервис" от 24.04.2019 № 1/2018. "Технико-экономические исследования степени целесообразности внедрения в лесном хозяйстве перспективных беспилотных комплексов площадного и линейного автоматического мониторинга" (2019 годы);

договор с ООО "Инком" от 24.09.2018 № 114-18 "Исследование логики выполнения организационных процессов, связанных с подготовкой планов тушения лесных пожаров лесничеств и сводных планов тушения лесных пожаров субъектов Российской Федерации" (2018 год).

Научные отчеты о выполнении указанных работ прошли установленном порядке рассмотрение приемочными комиссиями, приняты и внедрены.

### **Научные положения, выносимые на защиту**

1. Форма распределения значений частоты возникновения лесных пожаров, а также наличие цикличности в ретроспективных данных позволяют оценивать достоверность сведений о пожарах, интенсивность мер, принимаемых для их тушения, и существенно улучшать лесопожарные прогнозы.

2. Метод оценки уровня горимости лесов в регионах на основе отклонения значений площадей, пройденных огнем, от среднемноголетних значений, точнее традиционных показателей отражает итоги пожароопасного сезона.

3. Модифицированный метод формирования региональных шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды, учитывающий структуру исходных данных и специфику лесных районов, а также методические подходы к оценке их экономической эффективности.

4. Метод долгосрочного прогнозирования основных параметров пожароопасного сезона на уровне лесничеств, основанный на методах машинного обучения, и новый показатель для оценки результативности таких прогнозов.

5. Впервые предложен метод краткосрочного прогнозирования частоты возникновения лесных пожаров, основанный на аппроксимации данных полиномом  $n$ -степени.

6. Оценка эффективности организации охраны лесов от пожаров может осуществляться на основе предложенного показателя, совокупно учитывающего отклонение от среднемноголетних значений как горимости, так и напряженности пожароопасного сезона.

**Степень обоснованности и достоверности результатов, выводов.** Достоверность полученных результатов подтверждается обработкой большого объема данных, собранных на основе верифицированных методик (данные официальной ведомственной отчетности, данные ИСДМ-Рослесхоз, данные Росгидромета и др.), обработанных с использованием лицензионного программного обеспечения и библиотек с открытым исходным кодом (Statistica Automated Neural Networks, Mathcad, PostgreSQL+PosGis, Yandex Cloud,

Python+sktime+sklearn.neural\_networ), реализующих современные общепризнанные (подтвержденные рейтинговыми публикациями) алгоритмы обработки. Результаты исследований проходили опытно-производственную апробацию.

**Личный вклад автора в полученные результаты.** В основу диссертационной работы положены результаты исследований, выполненных по государственному заданию Рослесхоза, государственным контрактам Минприроды России, коммерческим договорам (по итогам конкурса) лично автором, с его непосредственным участием либо под его научным руководством. Автор самостоятельно осуществлял постановку цели и задач диссертации, разработку методологии исследований, обработку исходных данных, анализ, обобщение и интерпретацию полученных результатов, формулирование выводов работы и предложений производству. Участие автора в научных статьях составляет не менее 80–90%.

**Апробация работы.** Основные теоретические положения работы и результаты исследований опубликованы в журналах, рекомендованных ВАК и коллективной монографии с участием автора. Результаты диссертации докладывались на: всероссийской научно-практической конференции "Мониторинг, моделирование и прогнозирование опасных природных явлений и чрезвычайных ситуаций" (г. Железногорск, 2018 г.); международной конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" (г. Москва, 2021-2024 годы), Всероссийской научно-практической конференции с международным участием "Лесное хозяйство на современном этапе. Новые технологии и научные решения" (г. Пушкино, 2024 год), международной конференции "Лесные экосистемы бореальной зоны: биосферная роль, биоразнообразие, экологические риски" (г. Красноярск, 2024 год), IX Всероссийской (с международным участием) конференции "Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении, лесном хозяйстве и экологии" (г. Москва, 2025 г.), а также неоднократно на научно-технических

совещаниях секций НТС Минприроды России, НТС Рослесхоза, заседаниях Ученого совета ФБУ ВНИИЛМ.

**Публикации.** Полнота изложения материалов диссертации отражена в 50 работах, в том числе в 22 научных статьях, опубликованных в рецензируемых изданиях, включенных в перечень ВАК РФ и международные реферативные базы данных и системы цитирования, 17 свидетельствах о регистрации программ для ЭВМ и баз данных.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и списка использованных источников, включающего 285 наименований, из них 94 англоязычных. Работа изложена на 358 страницах, содержит 44 таблицы, 108 рисунков, имеет 7 приложений на 84 страницах.

# **ГЛАВА 1. СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ ПРОБЛЕМЫ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ОХРАНЫ ЛЕСОВ ОТ ПОЖАРОВ**

## **1.1 Закономерности динамики лесопожарной ситуации в Российской Федерации и прогностические оценки ее развития**

Лесные пожары представляют собой одну из ключевых угроз для состояния и сохранности лесов как в Российской Федерации, так и во многих других лесных странах. По последним имеющимся оценкам ФАО, в 2015 году в мире, главным образом в тропическом поясе – Африке и Южной Америке, было пройдено огнем около 98 млн га лесов. При этом отмечается увеличение интенсивности и частоты лесных пожаров. В 2023 году в процессе горения лесов в атмосферу выделилось 6,7 Мт диоксида углерода, что в 2 раза превышает объем его выбросов странами ЕС от сжигания ископаемого топлива [1].

Площади лесных пожаров в России, фиксируемые статистической отчетностью, колеблются в широких пределах, причем на их значения оказывают влияние не только погодно-климатические условия пожароопасных периодов, но и применяемые подходы к учету лесных пожаров. Согласно данным статистики, за период 1990 – 2012 годы количество лесных пожаров на землях лесного фонда колебалось в пределах 16,2 – 37,3 тыс. случаев, а ежегодная площадь, пройденная пожарами – 0,44 – 2,3 млн га. То есть при достаточно больших значениях возгораний, в официальной отчетности фиксировались явно заниженные площади очагов пожаров, прежде всего по причине предоставления недостоверной информации от субъектов Российской Федерации.

В последнем десятилетии, когда удалось добиться относительной сопоставимости данных Информационной системы дистанционного мониторинга, осуществляемого Рослесхозом (ИСДМ-Рослесхоз) и региональной отчетности субъектов Российской Федерации, ежегодно возникает в среднем от 9 до 16 тыс.

лесных пожаров (рисунок 1.1), а ежегодная площадь, пройденная огнем, колеблется в диапазоне от 1,3 млн га до 10 млн га (форма ведомственной отчетности 7-ОИП, за 2013-2023 годы). Имеются и другие данные, основанные на спутниковых наблюдениях, оценивающих ежегодные площади, пройденные огнем, в 5–25 млн. га [2]. Следовательно, долю площади лесных пожаров в России можно оценить в 5–9 до 25 % от общемировой. Размер ущерба от потери древесины под их влиянием может достигать десятков миллиардов рублей, не считая негативного влияния на климатическую систему Земли. Надо учитывать, что видимо в связи с изменением климата, в последние десятилетия в три раза увеличилась доля крупных лесных пожаров, а ежегодные площади, охваченные ими, достигают 90–95 % общей площади пожаров [3].

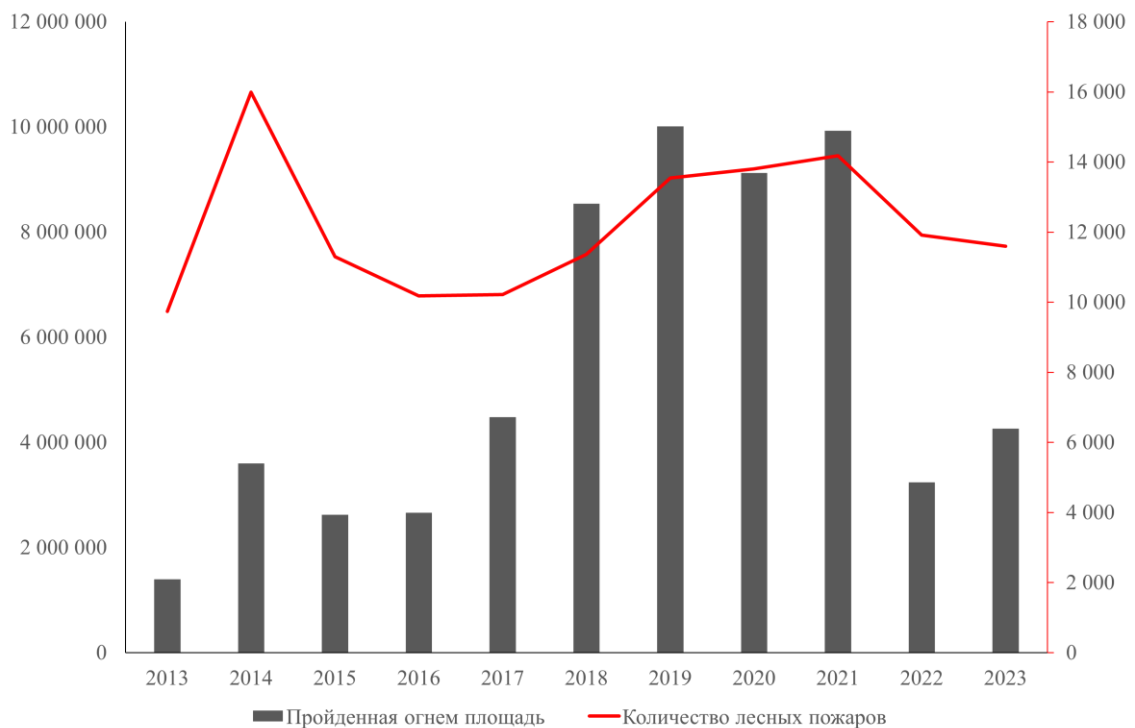


Рисунок 1.1 – Количество и площадь лесных пожаров на землях лесного фонда в Российской Федерации за 2013 – 2023 годы (по данным ведомственной отчетности, форма 7-ОИП)

Надо отметить, что по данным последнего десятилетия, которые можно с большой достоверностью считать однородными вследствие использования единой усовершенствованной методики учета пожаров, наибольшее количество

пожаров отмечалось в 2014 г., затем последовало снижение в 2016-2017 годы с последующим увеличением до 2023 г. В целом характерна общепризнанная цикличность при неравномерном распределении по территории страны (рисунок 1.2). Наибольшая частота возникновения лесных пожаров (по данным региональных диспетчерских служб за 2013-2023 года, далее – среднемноголетние значения), наблюдается в следующих регионах: Челябинская область – 109,7 случ. на 1 млн га, Курганская область – 104, Оренбургская область – 88, Республика Крым – 68,4, Московская область – 59,4 и Алтайский край – 39,3 случ. на 1 млн га.

Наиболее низкая относительная частота возникновения лесных пожаров характерна для Тульской области – 0,16 случ. на 1 млн га; Республики Северная Осетия – Алания – 0,26, Ненецкого автономного округа – 0,31, Камчатского края – 0,47, Липецкой области – 0,50, Чукотского автономного округа – 0,71, Орловской области – 0,71, Курской области – 0,77, Республики Татарстан – 0,81, Чеченской Республики – 0,89, Кемеровской области – Кузбасса – 0,92, Магаданской области – 1,23, Белгородской области – 1,38, Республики Саха (Якутия) – 1,66 случ. на 1 млн га.



Рисунок 1.2 – Места возникновения лесных пожаров на территории Российской Федерации в 2002 – 2023 (по данным ИСДМ-Рослесхоз)

Рисунок 1.2 наглядно показывает, что места возникновения лесных пожаров смещены в сторону территорий с большей плотностью населения и интенсивным использованием лесов.

Различия в природно-климатических, социально-экономических и лесохозяйственных условиях приводят к тому, что лесные пожары, возникающие в разных регионах, ликвидируются на разных площадях. Это связано не только с разной сложностью тушения, но и разной оснащённостью лесопожарных формирований. Анализ относительной горимости лесов [61] по среднегодовым данным ИСДМ-Рослесхоз (рисунок 1.3) показывает, что наибольшие её значения обычно наблюдаются в Амурской области – 11 га на 1 тыс. га лесов, Еврейской автономной области – 6 га на тыс. га, Республике Марий Эл – 6 га на 1 тыс. га, Курганской области – 6 га на 1 тыс. га, Забайкальском крае – 4 га на 1 тыс. га, Челябинской – 4 га на 1 тыс. га, Рязанской – 3 га на 1 тыс. га, Омской – 4 га на 1 тыс. га, Тюменской – 4 га на 1 тыс. га и Липецкой – 3 га на 1 тыс. га областях, Республике Саха (Якутия) – 3 га на 1 тыс. га.

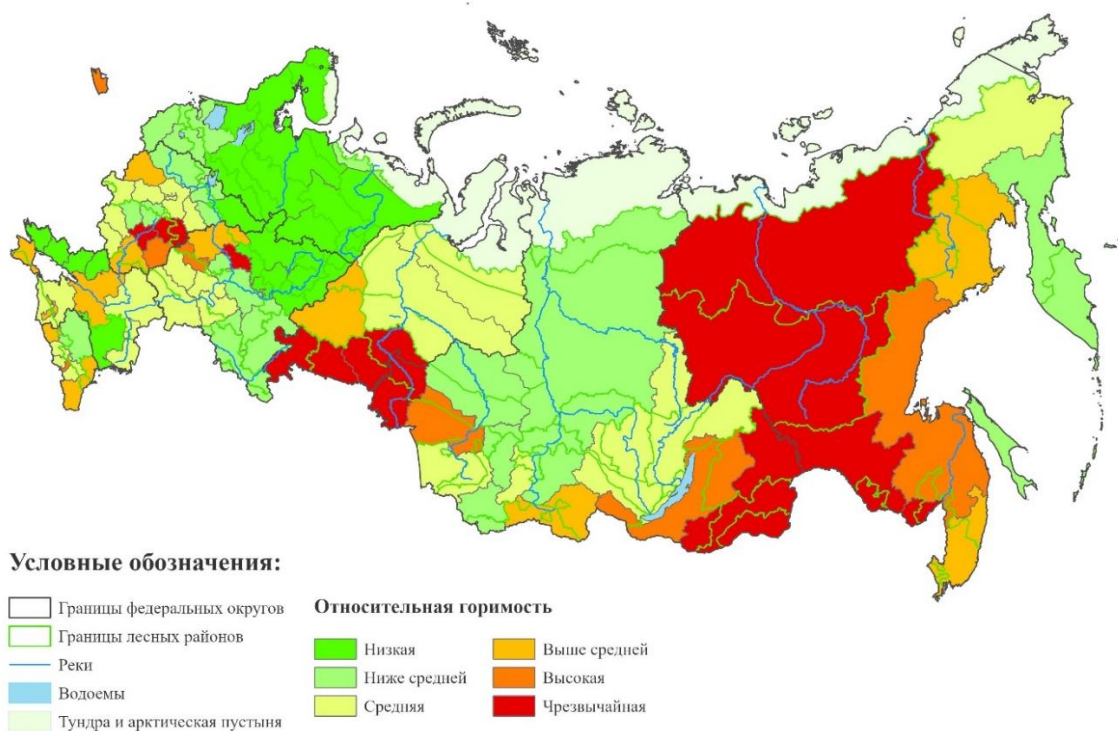


Рисунок 1.3 – Относительная горимость лесов по данным ИСДМ-Рослесхоз (2002-2023 годы)

Наименьшая горимость обычно наблюдается в Вологодской области – 0,04 га на 1 тыс. га, Кировской области – 0,05 га на 1 тыс. га, Пермском крае – 0,05 га на 1 тыс. га, Республике Коми – 0,05 га на 1 тыс. га, Удмуртской Республике – 0,06 га на 1 тыс. га, Архангельской области – 0,06 га на 1 тыс. га, Костромской области – 0,07 га на 1 тыс. га, Мурманской области – 0,07 га на 1 тыс. га и республике Карелия – 0,10 га на 1 тыс. га.

Прогнозные оценки показывают, что в перспективе в связи с наблюдаемыми тенденциями климатических изменений, к концу текущего века может наблюдаться увеличение продолжительности пожароопасного периода на 20–40 % для преобладающей части России и на 40–50 % – для западных и южных территорий Сибири и Дальнего Востока. Повышение засушливости климата и возрастание частоты катастрофических лесных пожаров приведет к удвоению площадей лесов, пройденных огнем. Эти явления в совокупности интенсифицируют лесопожарную ситуацию на значительной части территории страны и станут причиной роста повреждаемости лесов, что обуславливает необходимость совершенствования стратегии лесоуправления и ведения лесного хозяйства в части модернизации охраны лесов от пожаров [4–7, 62, 63]. Немаловажное значение в этом комплексе прорабатываемых мер имеет информационное обеспечение, вопросам совершенствования которого посвящена настоящая диссертационная работа.

## **1.2 Общая характеристика организационной структуры системы охраны лесов от пожаров**

Охрана лесов от пожаров – неотъемлемая составная часть мероприятий по сохранению лесов, направленных на сбережение лесных ресурсов через осуществление комплекса мер по обеспечению пожарной безопасности в лесах. Принятые в последние десятилетия законодательные решения по разделению полномочий в области лесных отношений между федеральными и региональными властями существенно изменили организационную систему охраны лесов

от пожаров. После принятия Лесного кодекса 2006 года, который с точки зрения организации охраны лесов от пожаров был достаточно либеральным, потребовалось внесение целого ряда изменений, связанных с установлением требований, ограничений и нормативов в данной сфере. В настоящее время это одна из наиболее зарегулированных составляющих лесного хозяйства России [64–66], призванная обеспечивать меры пожарной безопасности в лесах, тушение лесных пожаров, осуществление мероприятий по ликвидации чрезвычайных ситуаций (ЧС) в лесах, возникших вследствие лесных пожаров, а также по ликвидации последствий таких ЧС.

Согласно действующему лесному законодательству, полномочия по охране лесов от пожаров распределены между федеральным уровнем государственной власти в области лесных отношений и уровнем субъектов Российской Федерации. На федеральном уровне к сфере деятельности Министерства природных ресурсов и экологии (Минприроды России) и Федерального агентства лесного хозяйства (Рослесхоза) относятся вопросы законодательного и нормативного правового регулирования, установления лесопожарного зонирования, включая нормативы и критерии выделения зон контроля лесных пожаров; осуществление мер пожарной безопасности в лесах, тушение лесных пожаров и принятие решений о проведении мероприятий по ликвидации последствий лесных пожаров на землях обороны и безопасности и землях ООПТ федерального значения, выполнение взрывных работ и искусственного вызывания осадков при тушении лесных пожаров, осуществление комплекса мер по экстренному реагированию (ЭР) (порядок реагирования, создание и применение федерального резерва ЭР, критерии применения мер ЭР, виды пожарной техники, оборудования, снаряжения и инвентаря в целях осуществления мер ЭР). Общая политика в области пожарной безопасности, включая леса, а также функционирование государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций (РСЧС) осуществляется Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий (МЧС России). На федеральном уровне работает Федеральный штаб по координации

деятельности по тушению лесных пожаров, Комиссия Рослесхоза по чрезвычайным ситуациям и пожарной безопасности в лесах (КЧСиПБ).

Ключевой подведомственной организацией федерального уровня является ФБУ "Авиалесоохрана", которая осуществляет обеспечение мер экстренного реагирования путем направления сил и средств для оказания помощи регионам в предотвращении и ликвидации ЧС в связи с пожарами на землях лесного фонда и землях ООПТ федерального значения. Учреждение в целях локализации и ликвидации лесных пожаров, проводит взрывные работы и работы по искусственному вызыванию осадков, проводит авиационную охрану лесов от пожаров на ООПТ федерального значения Байкальской природной территории, осуществляет, благодаря использованию возможностей ИСДМ-Рослесхоз, контроль за достоверностью сведений о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах на всей территории страны. В составе "Авиалесоохраны" действует специализированная диспетчерская служба Рослесхоза (ФДС лесного хозяйства), которая обеспечивает сбор и анализ оперативной информации от региональных диспетчерских служб (РДС) субъектов РФ о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах, информирование заинтересованных служб, ведомств и населения о лесопожарной ситуации, представление оперативной информации заинтересованным ведомствам и организациям, информационно-аналитическое обеспечение работы Федерального штаба по координации деятельности по тушению лесных пожаров, Комиссии Рослесхоза по ЧС и ПБ, работ в области охраны лесов. При ФБУ "Авиалесоохрана" работает Межрегиональный лесопожарный центр "Север", Авиационный учебный центр [<https://aviales.ru>].

Субъектам Российской Федерации в лице их органов исполнительной власти в области лесных отношений в сфере охраны лесов от пожаров переданы полномочия Российской Федерации в части установления зон контроля лесных пожаров, выполнения мер пожарной безопасности, тушения лесных пожаров (за исключением взрывных работ и искусственного вызывания осадков, мер ЭР). На исполнение переданных лесных полномочий регионам ежегодно выделяются целевые средства в виде субвенций федерального бюджета. Субъекты Российской

Федерации организуют и содержат специализированные лесохозяйственные и лесопожарные учреждения (организации) или привлекают коммерческие организации для выполнения работ в сфере охраны лесов. Организации по тушению лесных пожаров представлены двумя видами:

- лесопожарные центры, где преобладают наземные подразделения – пожарно-химические станции (ПХС) (с 2019 года – лесопожарные станции (ЛПС)) и авиационные подразделения (авиаотделения), которые находятся в составе баз авиационной охраны лесов (авиабаз) или лесопожарных центров. К 2020 году численность работников наземных подразделений сократилась примерно с 70–80 тыс. человек до 15–18 тысяч человек (в 5 раз). Подразделения авиационной охраны лесов в России имеют 216 активных авиаотделений при 3 тыс. специалистов авиапожарной службы. В период с 1995 по 2006 годы цели охраны лесов обеспечивались силами ведомственной авиации (более 100 воздушных судов) при дополнительном привлечении около 300 единиц судов коммерческих авиакомпаний. В настоящее время ежегодно привлекается около 300 воздушных судов авиакомпаний, налет стабилен на уровне 40 тыс. часов, с небольшой динамикой роста;

- подразделения МЧС России, которые осуществляют тушение природных пожаров вне границ земель лесного фонда и на землях иных категорий, включая земли поселений и городские территории, осуществляют подразделения МЧС России. В сельской местности преобладают подразделения муниципальной и добровольной пожарной охраны. В случае возникновения чрезвычайных ситуаций, вызванных лесными пожарами, к тушению могут быть привлечены подразделения федерального резерва Рослесхоза и МЧС России.

Определенную часть работ по обеспечению пожарной безопасности в лесах (противопожарное обустройство, профилактика, пропаганда) выполняют лица, которым лица переданы в пользование (в основном, арендаторы лесных участков).

В целях выработки предложений по реализации единой политики в области предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечения пожарной безопасности, а также координации действий при тушении природных пожаров в

регионах созданы региональные Комиссии по предупреждению и ликвидации чрезвычайных ситуаций и обеспечению пожарной безопасности - КЧС органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации.

При осуществлении противопожарных мероприятий лесах необходимо также учитывать, что в связи с тем, что лесные (природные) пожары возникают не только на землях лесного фонда, но и землях иных категорий (ООПТ, МЧС России, Минобороны России, ФСБ России, ФСО России, Минсельхоза России и ряда других ведомств), организация работ по их предупреждению, обнаружению, тушению и ликвидации послепожарных последствий носят межведомственный характер. Кроме того, лесные пожары часто являются следствием иных природных пожаров, а в ряде случаев они являются угрозой для населенных пунктов и объектов экономики, что требует привлечения сил и средств других ведомств, в первую очередь, МЧС России. Все это приводит к довольно сложной организационно—функциональной системе охраны лесов от пожаров, которая требует грамотного планирования и оперативной координации работ на основе информационного обеспечения и взаимодействия всех участников.

Используя подходы функционального моделирования процессов, рекомендованные российским национальным стандартом Р 50.1.028-2001 [67], построенном на основе методологии IDEF (более детально см. главу 2) [68–72], нами, в рамках выполнения работ по теме государственного задания [73], проведен анализ организационно-функциональной системы охраны лесов от пожаров (рисунок 1.4, А.1 – А.7), включающий комплекс взаимосвязанных мероприятий:

- стратегическое планирование охраны лесов от пожаров;
- реализация мер пожарной безопасности в лесах;
- мониторинг пожарной опасности в лесах и лесных пожаров;
- тушение лесных пожаров и других природных (ландшафтных) пожаров;
- ликвидаций чрезвычайных ситуаций в лесах, возникших вследствие лесных пожаров;
- осуществление контроля и надзора в сфере охраны лесов от пожаров.

На этапе *стратегического планирования* работ Рослесхозом устанавливается лесопожарное зонирование территорий (выделение зон наземной и авиационной охраны, согласование зон контроля лесных пожаров, выделенных регионами), а также, в рамках защиты бюджетных проектировок, определяются основные плановые показатели по мероприятиям для регионов (включая противопожарную профилактику, противопожарное обустройство лесов, объемы их патрулирования лесов. Более подробно вопросы лесопожарного зонирования раскрыты в разделе 1.3.1.

К мероприятиям, направленным на *реализацию мер пожарной безопасности* в лесах, относятся предупреждение лесных пожаров, мониторинг пожарной опасности в лесах и лесных пожаров, включая деятельность информационной системы учета лесных пожаров, разработка и утверждение планов тушения лесных пожаров.

Предупреждение лесных пожаров включает в себя противопожарное обустройство лесов, приобретение необходимых средств для охраны лесов от пожаров и противопожарную пропаганду [74]. Следует отметить, что в силу сложностей обнаружения пожаров на территориях, удалённых от мест постоянной дислокации пожарных подразделений, и оперативной доставки сил и средств пожаротушения к местам работ, практически повсеместно акценты в системе лесопожарных мероприятий смещаются в сторону предотвращения пожаров. Подтверждением этому служит тот факт, что затраты на предупредительные мероприятия составляют порядка 80 % от суммарных расходов на охрану лесов от пожаров [75]. Противопожарное обустройство лесов (устройство минерализованных полос, противопожарных разрывов и просек, создание и эксплуатация лесных дорог противопожарного назначения, пожарных наблюдательных пунктов и др. объектов и мероприятий) проводят региональные специализированные учреждения (те же лесопожарные центры или отдельно созданные учреждения), а также арендаторы лесных участков.

Органы государственной власти в пределах своих полномочий разрабатывают планы тушения лесных пожаров, устанавливающие: перечень

и состав лесопожарных формирований, пожарной техники и оборудования, порядок привлечения и использования таких средств в соответствии с уровнем пожарной опасности в лесах; мероприятия по координации работ, связанных с тушением лесных пожаров; создание и порядок использования резервов, и иные мероприятия.

Сводный план тушения лесных пожаров на территории субъекта Российской Федерации согласовывается Рослесхозом и утверждается губернатором.

Отдельно следует выделить *мониторинг пожарной опасности в лесах и лесных пожаров* как одной из мер по обеспечению пожарной безопасности в лесах. Мониторинг проводится по-разному в каждой из выделенных зон охраны лесов, при этом в его организации существенное место занимают оценки пожарной опасности, которые базируются на классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды (более детально данный вопрос рассматривается ниже), устанавливаемые уполномоченным федеральным органом исполнительной власти (статья 53 Лесного кодекса Российской Федерации). В наземной зоне, площадь которой составляет порядка 88 млн га), кроме наземного патрулирования небольшими группами лесных пожарных по утвержденным маршрутам, для обнаружения возгораний используют также данные наблюдений на основе системы видеокамер. В авиационной зоне (порядка 597 млн га) проводится авиационное патрулирование лесов, в большинстве случаев, командами парашютистов-пожарных на борту, которые при обнаружении лесного пожара высаживаются к месту его тушения на парашютах. В наиболее удаленных и обычно труднодоступных территориях авиапатрулирование не проводится, а обнаружение пожаров выполняют исключительно с помощью космических средств. Последние годы все активнее внедряется патрулирование с использованием беспилотных авиационных систем (БАС), но пока оно рассматривается как вспомогательный инструмент и при планировании не учитывается.

Лесные пожары, относясь к природным пожарам, имеют свою специфику возникновения, динамики развития и, соответственно, принципы и методы

*тушения*. Существует два способа тушения: прямое тушение (подразумевает воздействие непосредственно на очаг возгорания, например, заливку водой, засыпку грунтом или сбивание пламени) и косвенное тушение (создание условий, чтобы остановить распространение огня, например, прокладка заградительных полос, выжигание встречного огня или использование естественных барьеров). Специфика природных пожаров заключается в относительно слабом горении на начальной стадии, что определяет важность оперативной доставки лесных пожарных к местам тушения. Существенная часть пожаров тушится региональными лесными пожарными с применением ранцевых лесных огнетушителей или применением встречного огня от естественных или специально созданных барьеров. В сложных случаях и где это возможно, для создания заградительных барьеров привлекается бульдозерная техника. При большом количестве возникающих пожаров или, когда ситуация с тушением выходит из-под контроля, вводится режим чрезвычайной ситуации (ЧС) в лесах, что позволяет привлечь дополнительные силы федерального резерва ПДПС ФБУ "Авиалесоохрана", а также МЧС России.

Как известно, аномальная горимость лесов распределяется неравномерно по территории страны, поэтому пытаться в каждом регионе содержать ресурсы на случай таких ситуаций экономически нецелесообразно. В Российской Федерации, как и во всех странах, обеспеченность лесопожарных формирований рассчитывается исходя из среднего уровня горимости. При этом в случае если в одном регионе лесопожарная ситуация существенно обостряется, туда перебрасывается резерв или подразделения из тех регионов, где горимость минимальна. Таким образом, успешная борьба с лесными пожарами во многом зависит от правильного планирования противопожарных мероприятий, корректного лесопожарного зонирования и грамотного маневрирования ресурсами пожаротушения. Для компетентного планирования такого маневрирования важен прогноз развития лесопожарной ситуации как в том регионе, куда планируется перебросить силы и средства, так и в том регионе, откуда планируется эти силы и средства привлекать.

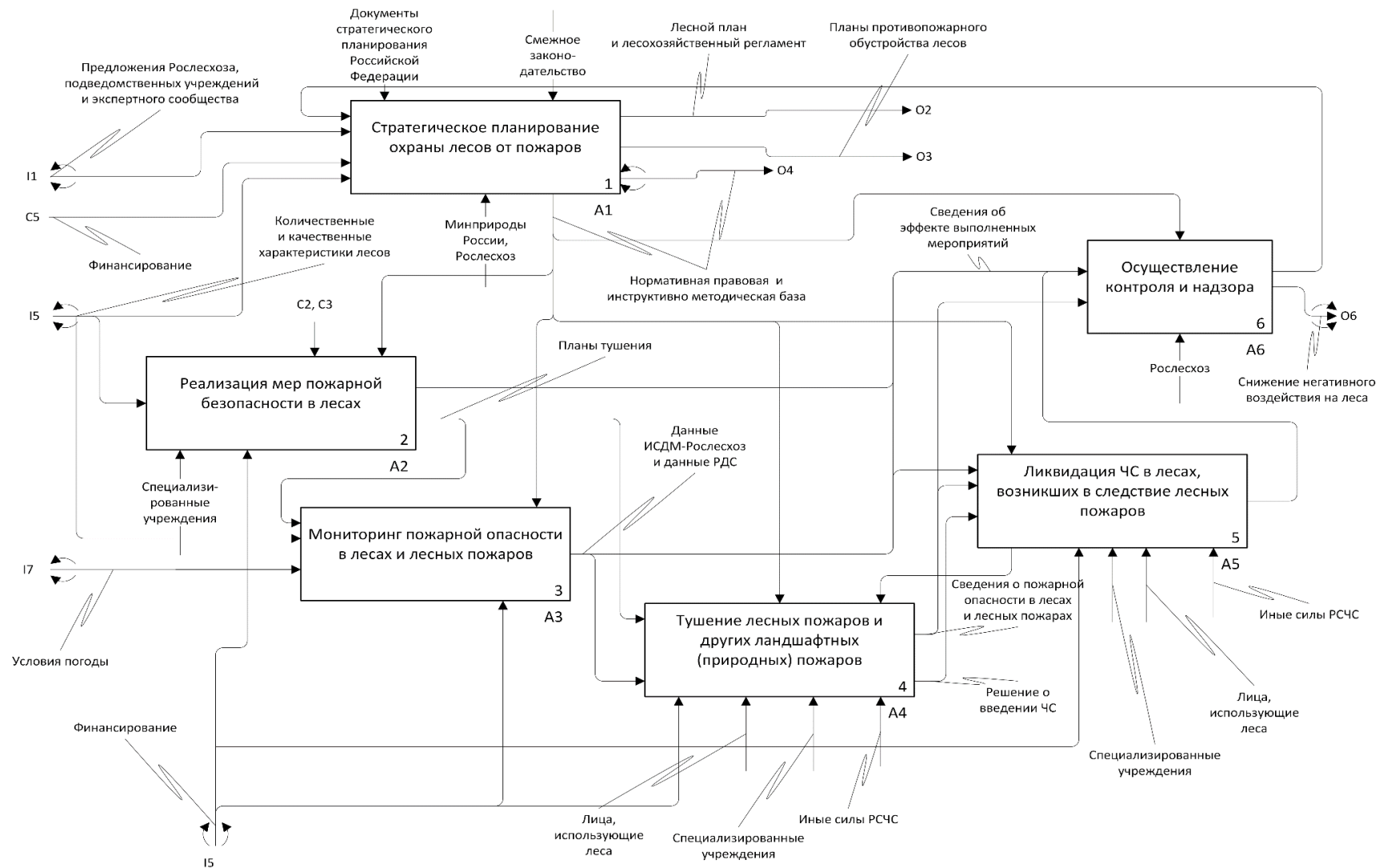


Рисунок 1.4 – Декомпозиция контекстной диаграммы A0. Охранять леса от пожаров

### **1.3 Оценка текущего состояния информационного обеспечения охраны лесов от пожаров**

Основой информационного обеспечения безусловно является сбор необходимых сведений. В контексте рассматриваемой работы, наиболее интересна именно составляющая, связанная с принятием управленчески решений. Поэтому не будем останавливаться на уровне отдельного пожара, а сконцентрируемся на более высоких уровнях. С этой точки зрения в современных условиях главным источником информации является организационная подсистема сбора и учета сведений о лесных пожарах, основанная на отчетности. Основой такой подсистемы является сеть региональных диспетчерских служб (по одной в каждом регионе) и федеральная диспетчерская служба лесного хозяйства (ФДС, на базе ФБУ "Авиалесоохрана") [76].

Существует большое количество различных источников информации (сведения, поступившие от граждан по телефону на горячую линию, текущая информация от лесопожарных формирований, данные авиационного патрулирования, данные дистанционного зондирования Земли, данные наземных замеров топографов и специалистов лесоустроительных мероприятий и т.д.). Часть данных получают на основе визуального наблюдения, поэтому они зависят от опыта человека, а часть являются инструментальными и зависят от прибора и метода измерений. Сразу следует отметить, что одних только алгоритмов обработки данных дистанционного зондирования Земли из космоса существуют десятки. И отличия не только в точности, но и в необходимых исходных данных и времени на измерения (вычисления). Таким образом, у одних данных высокая точность, но нужно ждать результатов неделями или месяцами, а у других - большая оперативность поступления данных, но низкая точность. Часть данных формируются массово и практически не требуют затрат. Для некоторых (например, для замеров с использованием авиации) требуются существенные финансовые затраты.

В настоящее время нормативно закреплены только формы предоставления сведений о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах от регионов на федеральный уровень [77]. В каждом регионе внутренний порядок учета, используемое программное обеспечение и даже состав сведений, связанных с пожарами, существенно различаются.

Несмотря на логичное желание унифицировать подходы и утвердить единые отчетные формы, следует помнить, что информация используется для разных задач, которые отличаются по требованиям к составу, структуре, оперативности предоставления и к точности используемой исходной информации о пожарах и их последствиях или угрозе их возникновения. Кроме того, каждая задача решается в разное время и разными подразделениями, в том числе разной ведомственной подчинённости. Это часто приводит к тому, что информация об одних и тех же пожарах существенно различается.

Другой проблемой, связанной с информационным обеспечением, является плохая структурированность информации за прошлые годы. Сведения о пожарах в централизованные базы данных ранее собирались не по всем пожарам (не от всех учреждений и не по всем территориям), и состав этих сведений много раз менялся. Это существенно усложняет ретроспективный анализ данных.

Сведения о лесных пожарах в ФДС традиционно собираются агрегировано, за предыдущие сутки (по факту, обычно по состоянию на заключительный осмотр с патрульного воздушного судна) и предоставляются к 6:00 московского времени. До 2015 года большинство оперативных сведений предоставлялись в агрегированном виде (всего по региону), за исключением более детальной информации о крупных пожарах. Итоговая информация о каждом пожаре представлялась в конце года. С 2015 года на федеральном уровне стали собирать всю оперативную информацию о каждом пожаре.

В рамках выполнения ФБУ ВНИИЛМ по государственному заданию Рослесхоза научных исследований по теме "Разработка научно обоснованных предложений по повышению эффективности охраны лесов от пожаров

с использованием цифровых технологий", был проведен анализ текущего состояния информатизации охраны лесов от пожаров [73]. При анализе использовались сведения из открытых источников (публикации, новости в СМИ), сведения ведомственной отчетности (в первую очередь годовые отчеты региональных баз авиационной охраны лесов). Кроме того, был организован официальный опрос органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, уполномоченных в области лесных отношений (письмо ФБУ ВНИИЛМ от 03.08.2022 № 757). В опросе приняли участие 524 респондента из 75 субъектов Российской Федерации (таблица 1.1).

Таблица 1.1 – Распределение респондентов, участвующих в опросе по федеральным округам

Названия строк	Специалист регионального министерства (департамента)	Работник лесничества	Работник лесопожарного учреждения	Другое	Общий итог
Дальневосточный	7	92	16	16	131
Приволжский	17	38	13	2	70
Северо-Западный	6	90	21		117
Северо-Кавказский		16	2		18
Сибирский	12	35	12	5	64
Уральский	3	7	1	4	15
Центральный	12	38	17	3	70
Южный	6	17	11	5	39
Общий итог	63	333	93	35	524

В части анализа важности направлений информатизации процессов охраны лесов от пожаров среди экспертного сообщества нет единого мнения (коэффициент согласованности очень низкий). Вместе с тем, средний ранг ответов позволяет сделать ряд ключевых выводов (таблица 1.2).

Бесспорно наиболее важными, с точки зрения большинства специалистов, являются вопросы информационного обмена между подразделениями, а также навигационная информация о местоположении и передвижении ресурсов. Также большой уровень значимости получили такие направления как оценка плановых объемов противопожарных мероприятий и лесопожарного зонирования. В целом

важность информационного обеспечения вопросов стратегического планирования оказалась существенно выше даже прогнозов возникновения пожаров, и тем более оценки деятельности должностных лиц. Примерно на среднем месте располагаются текущие вопросы прогноза распространения лесного пожара, расчеты объема доступных ресурсов, потребного количества сил и средств, а также общие затраты на охрану лесов от пожаров.

Таблица 1.2 – Важность направлений использования информации для эффективной организации охраны лесов от пожаров

Направление информационного обеспечения	Значимость
Обеспечение связи между подразделениями.	13,3
Использование навигационной информации о местоположении и передвижения ресурсов пожаротушения.	12,1
Использования лесопожарной информации для формирования плановых объемов мероприятий по противопожарному обустройству лесов, объемов патрулирования лесов и т.д.	12,0
Использование информации для формирования лесопожарного зонирования территорий.	12,0
Использования лесопожарной информации для определения объема финансирования мероприятий.	11,4
Информация об объеме доступных ресурсов (продукты, ГСМ и т.д.).	11,4
Использование прогноза распространения лесного пожара.	11,4
Оценка затрат на охрану лесов от пожаров.	11,4
Использование расчета сил и средств, необходимых для тушения лесного пожара.	11,3
Использования лесопожарной информации для определения вида, структуры и состава лесопожарных формирований.	11,2
Использование прогноза пожарной опасности в лесах.	10,6
Использование информации для оценки вреда, возникшего в следствие лесного пожара.	10,3
Оценка эффективности организации охраны лесов от пожаров в регионе.	10,1
Использование прогноза возникновения лесных пожаров.	9,9
Использование прогноза лесопожарной ситуации в регионе.	9,6
Использование прогноза потенциальных затрат на тушение (для оценки целесообразности тушения).	8,9
Оценка достижения целевых показателей государственных программ.	8,9
Оценка деятельности должностных лиц.	8,4
Использование прогноза потенциального вреда от лесного пожара (для оценки целесообразности тушения).	8,2
Использование информации для формирования плановых показателей набора в учебные заведения.	7,7

При анализе фактического уровня информационного обеспечения единодушия тоже не наблюдалось, хотя в целом уровень оценивался как средний. Наиболее слабо проработанными вопросами названы оценки прогнозируемых затрат и потенциального вреда от лесных пожаров. Эта информация необходима для оценки целесообразности тушения лесных пожаров в зоне контроля (таблица 1.3).

Таблица 1.3 – Текущее состояние информационного обеспечения организации охраны лесов от пожаров

<b>Направление информационного обеспечения</b>	<b>Значимость</b>
Использование прогноза пожарной опасности в лесах	7,5
Использование расчета сил и средств, необходимых для тушения лесного пожара	7,1
Использование прогноза лесопожарной ситуации в регионе	6,9
Обеспечение связи между подразделениями	6,8
Использование прогноза возникновения лесных пожаров	6,6
Использование прогноза распространения лесного пожара	6,6
Оценка затрат на охрану лесов от пожаров	6,5
Информация об объеме доступных ресурсов (продукты, ГСМ и т.д.)	6,4
Использование информации для оценки вреда, возникшего в следствие лесного пожара	6,3
Использование навигационной информации о местоположении и передвижения ресурсов пожаротушения	6,0
Использование прогноза потенциальных затрат на тушение (для оценки целесообразности тушения)	5,6
Использование прогноза потенциального вреда от лесного пожара (для оценки целесообразности тушения)	5,6

Приведенные выше оценки показывают значимость информационного обеспечения для организации и эффективного функционирования системы охраны лесов от пожаров. Рассмотрим более детально особенности информационных потоков, формирующихся в сфере охраны лесов.

Результаты функционального анализа позволили построить схему информационных потоков, связанных с охраной лесов от пожаров (рисунок 1.5).

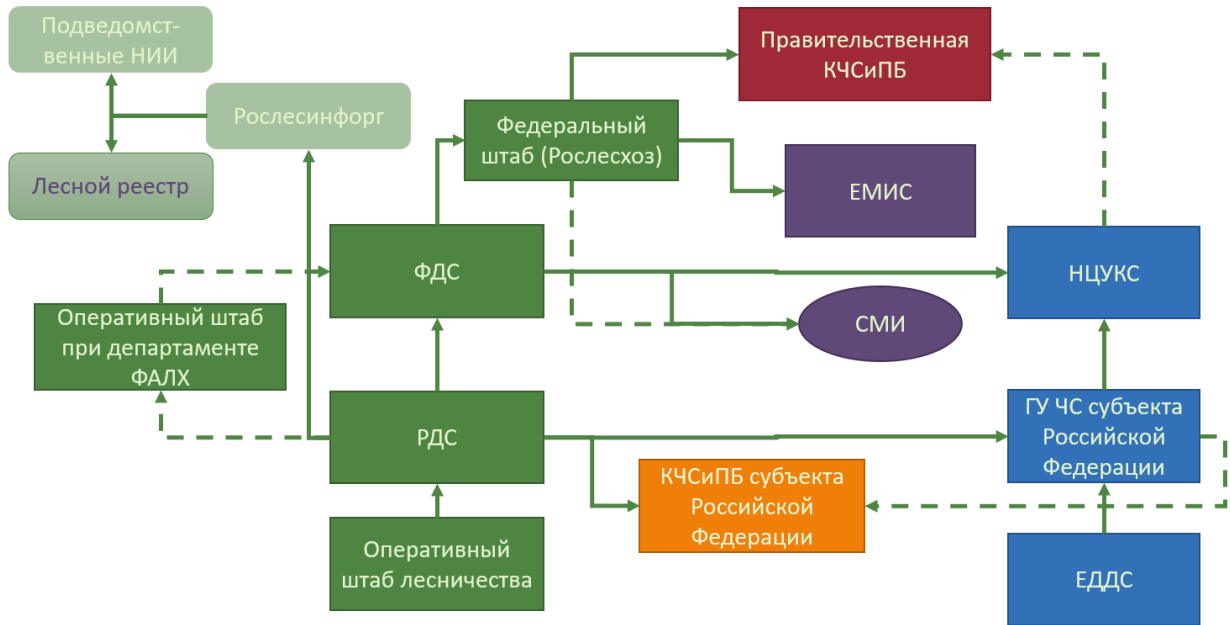


Рисунок 1.5 – Схема информационных потоков в сфере охраны лесов от пожаров

Ключевым элементом информационного взаимодействия являются региональные диспетчерские службы лесного хозяйства (РДС) [76], созданные в каждом субъекте Российской Федерации. Информация в них поступает от оперативных штабов лесничеств и после обработки в установленных форматах [77] направляется в федеральную диспетчерскую службу (ФДС ФБУ Авиалесоохрана). Далее, в установленной форме, информация передается в федеральный штаб тушения лесных пожаров [78] (Рослесхоз), в Национальный центр управления кризисными ситуациями (НЦУКС). Через официальный сайт ФБУ "Авиалесоохрана" информация о лесных пожарах от ФДС попадает в средства массовой информации (СМИ).

Кроме основного информационного потока существует ряд вспомогательных. Так, информация в регионах от РДС попадает в Главные управления чрезвычайных ситуаций субъекта Российской Федерации (ГУЧС субъекта Российской Федерации). Туда же может поступать первичная информация от Единых дежурно-диспетчерских служб муниципальных образований. Кроме того, РДС передает информацию в оперативный штаб при

Департаменте соответствующего федерального округа. Если на территории региона имеются зоны контроля лесных пожаров, то в ряде случаев информация передается в Комиссию по чрезвычайным ситуациям и пожарной безопасности субъекта Российской Федерации (КЧСиПБ субъекта Российской Федерации) для принятия решения о нецелесообразности тушения отдельных пожаров.

В случае наличия на территории чрезвычайных ситуаций межрегионального и регионального уровня к информационному обмену может подключиться Правительственная комиссия Комиссию по чрезвычайным ситуациям и пожарной безопасности, куда поступает информация как от Федерального штаба (Рослесхоза), так и от НЦУКС. После завершения пожароопасного сезона итоговая информация, связанная с организацией охраны лесов от пожаров, направляется в виде отчетов в Рослесинфорг (для включения в лесной реестр и, при необходимости, передачи подведомственным научно-исследовательским институтам (НИИ). Кроме того, утвержденные итоговые сведения подаются в Росстат и попадают в Единую межведомственную систему (ЕМИС).

Помимо указанных на схеме информационных потоков, к сведениям, связанным с охраной лесов от пожаров, также нужно относить Сводные планы тушения лесных пожаров на территории субъекта Российской Федерации (направленные регионами в Рослесхоз на согласование) и Планы противопожарного обустройства лесов в субъекте Российской Федерации. На данный момент это поток информации в виде обычной переписки через межведомственный электронный документооборот (МЭДО). Организация процедуры формирования и представления указанных планов через Федеральную государственную информационную систему лесного комплекса (ФГИС ЛК) еще не реализована.

С точки зрения назначения, информационные потоки можно разделить на следующие группы:

– сведения, необходимые для долгосрочного планирования и прогнозирования;

– сведения, необходимые для принятия текущих (оперативных) управленческих решений;

– сведения, необходимые для контроля и оценки эффективности.

В рамках указанных групп задач необходимо выстроить иерархическую структуру задач информационного обеспечения управленческих решений, представленных в таблице ниже (таблица 1.4).

Таблица 1.4 – Ключевые задачи, связанные с информационным обеспечением

Наименование задачи	Периодичность	Кто реализует	Основной потребитель результатов
<b>1. Сведения, необходимые для долгосрочного планирования и прогнозирования</b>			
Лесопожарное зонирование территорий	единоразово	Рослесхоз (на основании предложений регионов)	регионы
Определение вида, структуры и состава лесопожарных формирований	раз в 10 лет	регионы (по согласованию с Рослесхозом)	регионы
Формирование нормативов обеспеченности лесопожарных формирований	единоразово	Минприроды России	регионы, ФБУ "Авиалесоохрана"
Оценка плановых объемов мероприятий	уточняется каждый год на 3 года вперед	Рослесхоз	регионы, ФБУ "Авиалесоохрана"
Определение объема финансирования	уточняется каждый год на 3 года вперед	Правительство Российской Федерации	регионы, ФБУ "Авиалесоохрана"
Формирование потребности в кадрах	единоразово	регионы	учебные центры, ВУЗы
<b>2. Сведения необходимые для принятия текущих (оперативных) управленческих решений</b>			
Прогноз пожарной опасности в лесах	ежедневно и на 5 дней вперед	Подразделения Гидрометцентра России и Рослесхоз (ИСДМ-Рослесхоз)	лесопожарные формирования
Прогноз возникновения лесных пожаров	ежедневно	официальных обязательств нет	лесопожарные формирования
Прогноз лесопожарной ситуации в регионе	ежедневно	РДС и ФДС	лесопожарные формирования, оперативные штабы
Прогноз распространения	при	ИСДМ-Рослесхоз	лесопожарные

<b>Наименование задачи</b>	<b>Периодичность</b>	<b>Кто реализует</b>	<b>Основной потребитель результатов</b>
лесного пожара	возникновении и далее, по мере возможности		формирования
Расчет сил и средств, необходимых для тушения лесного пожара	при возникновении и в случае изменения ситуации	руководитель тушения	лесопожарные формирования, оперативные штабы
Формирование тактики тушения лесного пожара	при возникновении и в случае изменения ситуации	руководитель тушения	группы пожаротушения, оперативные штабы
Прогноз потенциальных затрат на тушение	при возникновении пожара в зоне контроля	РДС	лесопожарные формирования
Прогноз потенциального вреда от лесного пожара	при возникновении пожара в зоне контроля	РДС	лесопожарные формирования
Оценка целесообразности тушения лесных пожаров на удаленных и труднодоступных территориях	при возникновении пожара в зоне контроля	КЧСиПБ	лесопожарные формирования, оперативные штабы
Оценка вреда, возникшего вследствие лесного пожара	после ликвидации пожара	Лесничество	Рослесхоз
Оценка затрат на охрану лесов от пожаров	ежегодно на 3 года вперед	Лесопожарные центры	Рослесхоз
<b>3. Подведение итогов и контроль</b>			
Формирование сведений в официальную статистику	Ежегодно	ФДС	Росстат
Оценка вклада лесных пожаров в углеродный баланс	ежегодно	Рослесхоз (ФДС)	Гидрометцентр Росси
Оценка эффективности организации охраны лесов от пожаров	ежегодно	ФДС	Рослесхоз
Оценка достижения целевых показателей	ежегодно	Рослесхоз (ФДС)	Правительство Российской Федерации
Оценка деятельности высших должностных лиц	ежегодно	Рослесхоз	Рослесхоз

Можно отметить, что подсистема отчетности требует реформирования, но к этому процессу целесообразно подходить дифференцированно, учитывая различные цели дальнейшего использования информации. Даже классические сведения о количестве и площади пожаров должны чётко разделяться на три группы: сведения для информирования общественности; оперативная информация о лесных пожарах (для организации тушения); информация о пройденной огнём площади (для учета лесов и планирования лесохозяйственных мероприятий).

В контексте ключевых задач диссертационной работы рассмотрим только те вопросы, которые непосредственно связаны с информационным обеспечением управленческих решений на федеральном уровне.

### 1.3.1 Лесопожарное зонирование лесных территорий

Как было сказано выше, для осуществления мероприятий по охране лесов и тушению пожаров в густонаселённых районах создавались пожарно-химические станции - ПХС (в настоящее время именуются лесопожарными станциями - ЛПС), а в удалённых районах - базы авиационной охраны лесов от пожаров (авиаотделения). ПХС входили в состав лесничеств и их силами осуществлялась наземная охрана лесов. Авиаотделения являлись составной частью авиабаз, специализированных учреждений, в первоочередные задачи которых входили мониторинг и тушение лесных пожаров на недоступных для наземной техники участках лесного фонда. Соответственно, из-за осуществления охранных мероприятий в лесах разными структурами, в лесопожарном зонировании возникло понятие зон наземной и авиационной охраны лесов.

Деление на зоны происходило на региональном уровне местными лесоустроительными предприятиями. Для региона в целом (а иногда для конкретного лесхоза) разрабатывался Проект противопожарных мероприятий [79]. Труднодоступные территории закреплялись за авиабазами, в зоне наземной доступности охрану лесов от пожаров осуществляли лесхозы. Обеспечить полноценную охрану всего лесного фонда не представлялось возможным, и потому на практике в некоторых регионах леса на удаленных территориях оставались

абсолютно без охраны: они не были подконтрольны специализированным лесопожарным организациям, а у лесхозов не хватало ресурсов для тушения подобных пожаров. Появление неподконтрольных территорий как установившегося явления, позже получило официальную формулировку, в которой обозначено, что на территории лесного фонда выделяют активно охраняемые леса и активно не охраняемые леса (ГОСТ Р 22.1.09-99) [80].

В 2005 году сформировались новые подходы в лесопожарном зонировании и было это связано с повсеместным внедрением по всей России современных космических методов мониторинга лесных пожаров и созданием Информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) [81]. В изданном тогда нормативном акте о космическом мониторинге лесных пожаров было установлено деление лесного фонда на зоны наземной, авиационной охраны, а также зоны космического мониторинга первого и второго уровней, зоны космического мониторинга первого уровня относились труднодоступные территории, тушение лесных пожаров на которых осуществляется в основном с применением авиационных сил и средств.

Зона космического мониторинга второго уровня — это удаленные территории, на которые доставка пожарных до места лесного пожара и их возврат к месту базирования авиационных сил и средств воздушным судном возможно только с дозаправкой. К этой категории также могут относиться резервные леса, где не производится авиапатрулирование, а тушение лесных пожаров выполняется только при наличии угрозы населенным пунктам и объектам инфраструктуры, а также при введении в регионе режима чрезвычайной ситуации. При этом существовавшее деление зоны авиационного мониторинга на районы авиационной и наземной охраны сохранилось. Часто в ведомственных отчетах и даже в некоторых документах употреблялись понятия "авиазона" и "наземная зона", но правильными терминами являются: "районы применения авиационных сил и средств пожаротушения" (АСС) и "районы применения наземных сил и средств пожаротушения" (НСС).

Основным критерием деления на зоны, как и ранее, было время доставки лесных пожарных от места дислокации к месту пожара, которое не превышало 3 часов (для НСС). Таким образом, деление на районы применения сил и средств пожаротушения на уровне лесхозов ежегодно корректировалось. Несмотря на упоминание про тушение, в целом нормативный акт относился только к вопросам мониторинга (преимущественным способам обнаружения лесных пожаров). Важным шагом в развитии системы охраны лесов от пожаров стал тот факт, что с введением в действие ИСДМ-Рослесхоз понятие "неохраняемые территории" перестало существовать. Впоследствии с принятием Лесного кодекса 2006 года, предусматривающего разделение лесных полномочий, приказ потерял свою юридическую силу.

Общеизвестно, что вопрос зонирования тесно связан с экономической составляющей организации охраны лесов от пожаров, а также с затратами на мероприятия по тушению. Первым шагом к легитимизации лесопожарного зонирования стали Правила тушения лесных пожаров, утвержденные приказом Минприроды России от 08.07.2014 № 313. В соответствии с ними в целях установления оптимального режима и способов тушения лесных пожаров, территории, на которых расположены леса, разделяются на районы применения авиационных сил и средств пожаротушения, и наземных сил и средств пожаротушения. Кто устанавливает эти районы – в приказе явно не было сказано. Уже через год в Правила тушения лесных пожаров были внесены изменения, наделяющие субъекты Российской Федерации полномочиями по выделению зон контроля лесных пожаров. При этом в указанных зонах Каспи субъекта Российской Федерации может быть принято решение о нецелесообразности тушения лесного пожара при отсутствии угрозы населенным пунктам или объектам экономики в случаях, когда прогнозируемые затраты на тушение лесного пожара превышают прогнозируемый вред, который может быть им причинен. Позднее появился Порядок организации и выполнения авиационных работ по охране лесов от пожаров, утвержденный приказом Минприроды России от 15.11.2016 № 597

[82]. В соответствии с ним, уполномоченные органы проводят разделение зоны осуществления лесоавиационных работ на районы ответственности за тушение лесных пожаров между наземными и авиационными лесопожарными формированиями (в данном случае подразумеваются районы применения авиационных сил и средств пожаротушения и наземных сил и средств пожаротушения). Если речь идет про леса, расположенные на землях лесного фонда, то в указанных выше случаях уполномоченными органами являются субъекты Российской Федерации.

Только с принятием Федерального закона от 23.06.2017 № 218-ФЗ в статье 51 Лесного кодекса Российской Федерации появилась запись о том, что в зависимости от экономического и экологического значения лесов, а также социально-экономического развития территорий и природной пожарной опасности лесов, выделяются зоны охраны лесов от пожаров различными способами с использованием наземных, авиационных или космических средств (лесопожарное зонирование). Указанная формулировка установила исторически сложившийся терминологический подход к понятиям зонирования на основе преимущественных способов обнаружения и тушения лесных пожаров.

Следует учитывать, что финансовые затраты на организацию охраны лесов разными способами (наземным или авиационным), существенно отличаются. Таким образом, распределение лесов по зонам охраны является важным инструментом стратегического планирования организации охраны лесов от пожаров, который существенно влияет как на эффективность такой охраны, так и на затраты. Исследования, связанные с поиском подходов к лесопожарному зонированию, проводились и ранее [54, 55, 83], но пока утвержденной методики не существует, а необходимость уточнения подходов к выделению зон контроля сохраняется.

### 1.3.2 Оценка горимости лесов

С точки зрения представления сведений о пожарах для лиц, принимающих управленческие решения подходы также постепенно менялись.

Классическим (традиционным) подходом можно считать, когда руководству предоставлялась следующая информация:

- количество действующих лесных пожаров;
- количество лесных пожаров, возникших за последние сутки;
- площадь, пройденная огнем за прошедшие сутки.

Также обычно представлялась информация по нарастающему количеству и площади лесных пожаров, а также сравнение со средними значениями за 5 лет (в некоторые годы требовалось за 10 лет).

Еще на начальных этапах становления охраны лесов от пожаров в начале 20 века было понятно, что простые значения количества действующих пожаров и пройденная огнем площадь (то, что можно назвать первым уровнем лесопожарного анализа) не отражают реальную ситуацию, так как отдельные административные единицы (субъекты Российской Федерации, зоны ответственности авиабаз охраны лесов и пожарно-химических станций и даже лесничества) имеют существенно разную площадь.

Классическим подходом к решению подобной проблемы является использование относительных единиц (в частности пересчет значений на единицу площади лесов). При этом для вербальной оценки (удобства восприятия значений) был разработан ряд шкал по количеству пожаров на один млн га и пройденной огнем площади на 1 тыс. га (или на 100 тыс. га) площади лесов [79, 84, 85]. Но эти шкалы использовались в основном для планирования работ по противопожарному обустройству и итоговой (по завершении пожароопасного сезона) сравнительной оценки (таблица 1.5).

В целом такой подход (условно можно назвать "вторым уровнем" лесопожарного анализа) является более прогрессивным и применяется до сих пор, однако не во всех случаях является оптимальным. Например то, что по указанной шкале считается чрезвычайной горимостью для Свердловской области, для Республики Саха (Якутия) не представляет серьезной угрозы. На этом фоне возникает естественная потребность проведения сравнительной оценки горимости

внутри регионов в сравнении со среднегодовыми значениями. Такой подход условно можно назвать "третьим уровнем" лесопожарного анализа.

Таблица 1.5 – Вербально-числовые шкалы оценки горимости лесов, применяемые в противопожарном устройстве лесного фонда

Баллы	Содержание градаций	Шкала, разработанная РОСГИПРОЛЕС		Шкала, разработанная ИЛид СО АН РФ	
		Частота возникновения пожаров, случ. на 1 млн. га	Площадь, пройденная огнем, га на 1000 га	Частота возникновения пожаров, случ. на 100 тыс. га	Площадь пожаров, га на 100 тыс. га
1	Очень высокая	201 и более	1.1 и более	20.1 и более	3001 и более
2	Высокая	101 - 200	0.51 – 1.00	7.1 – 20.0	101 - 300
3	Средняя	51 - 100	0.21 – 0.50	2.1 – 7.0	31 – 100
4	Очень низкая	5 – 50	0.06 – 0.20	0.6 – 2.0	11 – 30
5	Низкая	Менее 5	Менее 0.06	Менее 0.6	10 и менее

Одним из важных источников информации о горимости лесов являются данные дистанционного зондирования Земли из космоса [87, 90].

Сегодня для этих целей используется Информационная система охраны лесов от пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз), созданная в 2005 году. С самого начала функционирования система внесла неоценимый вклад в организацию охраны лесов от пожаров, создав возможности для мониторинга пожаров на удаленных территориях, совершенствования лесопожарного зонирования, оптимизации зоны авиационного патрулирования и отказа от обязательного ежедневного авиационного облета каждого крупного пожара [2, 50, 87]. В настоящее время с технической точки зрения ИСДМ-Рослесхоз является распределенной информационной системой, состоящей из нескольких блоков и подсистем, созданных разными разработчиками в разное время. Отдельные элементы системы физически располагаются в центральном (г. Пушкино Московской области) и региональных информационных узлах. Имеется также резервный узел в ИКИ РАН, на котором тестируются модернизированные элементы системы. Как было показано выше, ИСДМ-

Рослесхоз интегрирована в организационную систему охраны лесов от пожаров, а необходимость использования ее сведений предусмотрена нормативными актами [88–95], а также ведомственными приказами Рослесхоза.

С учетом особенностей государственного управления лесами, связанных с передачей части федеральных полномочий по охране лесов субъектам Российской Федерации, основными задачами ИСДМ-Рослесхоз являются оценка достоверности сведений о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах, информационное обеспечение решения о маневрировании силами и средствами пожаротушения, а также задач, связанных с федеральной координацией тушения; сбор оперативной информации от региональных диспетчерских служб и информационное обеспечение контрольно-надзорных мероприятий (в рамках контроля за переданными полномочиями). Несмотря на "федеральный уровень", технические возможности системы позволяют оказывать помощь регионам для информационного обеспечения охраны лесов от пожаров (текущая пожарная опасность по условиям погоды, прогнозы пожарной опасности и др.), обнаружение лесных пожаров космическими методами, мониторинг и прогнозирование распространения крупных лесных пожаров, обеспечение лесопожарных служб инструментами для визуализации и анализа комплексной лесопожарной информацией, включая космическую.

В настоящее время в ИСДМ-Рослесхоз не просто собрана информация со всех российских и всех общедоступных зарубежных космических аппаратов, но в автоматическом режиме формируются информационные продукты их обработки, в том числе: векторные (точки возникновения пожаров, контуры пожаров, площади пройденные огнем (по разным алгоритмам), площади активного горения, площади погибших насаждений и т.д.), растровые (результаты обработки ДЗЗ, оптимизированные для выявления гарей, дымов, облачность и др., более 50 информационных продуктов) [96]. В системе имеется встроенный инструментарий для более тонкой автоматизированной обработки данных ДЗЗ, а также сервисы прогноза распространения пожара, подготовки картографической информации

и других задач. В части визуализации и алгоритмов тематической обработки имеющихся данных спутниковых наблюдений она почти не уступает зарубежным аналогам, хотя имеется определенное отставание по алгоритмам информационной поддержки. В разной степени проработки в ИСДМ-Рослесхоз имеется, но пока не интегрирован в систему, большой перечень технологий (алгоритмов), обеспечивающих расчет комплексного вреда от лесных пожаров, расчет сил и средств, необходимых для тушения лесных пожаров, прогноз потенциальных затрат на тушение и возможного ущерба от пожаров, оценку результативности и эффективности лесопожарных мероприятий. В перспективе планируется модернизация ИСДМ-Рослесхоз, предусмотренная Стратегией развития лесного комплекса, утвержденной Правительством Российской Федерации [95].

Таким образом в охране лесов от пожаров уже стал формироваться значительный объем информации, который можно использовать для более глубокого анализа лесопожарной обстановки.

Как известно ранее, в дополнение к текущим сведениям о горимости за последние сутки предоставлялись данные о сравнении количества и площади пожаров со средними значениями за 5 лет (в некоторые годы требовалось за 10 лет). Последние несколько лет стало распространенным получать сведения о сравнении со значениями на тот же день прошлого года, что по моему мнению, из-за колебательного характера горимости, не является информативным. В качестве критерия оценки эффективности работы подразделений используется простое сравнение с площадью [97]. При этом в качестве допустимого норматива горимости для регионов взяты простые статистические значения за последние 5 лет.

Таким образом, можно констатировать, что в России наблюдается потребность в совершенствовании методов оценки горимости лесов.

### 1.3.3 Оценка пожарной опасности в лесах

Пожарная опасность в лесу – возможность возникновения и (или) развития лесного пожара, которая определяется лесорастительными условиями

и таксационными показателями лесных участков, а также условиями погоды. В отечественной лесопожарной науке и практике сложилось два понятия пожарной опасности – природная пожарная опасность лесов и пожарная опасность в лесах в зависимости от условий погоды. Данные классификации, согласно действующему законодательству, устанавливаются уполномоченным федеральным органом исполнительной власти [74].

Природная пожарная опасность лесов на участке определяется наличием и характером растительных горючих материалов (РГМ) и их готовностью к горению ("пожарной зрелостью" по Н.П. Курбатскому) [20]. Известно большое количество работ в этом направлении, включая: В.Г. Нестерова [9], И.С. Мелехова [11], М.А. Шешукова [25], М.А. Софронова [20], А.В. Волокитиной [30], М.Д. Евдокименко [21], С.В. Залесова [27], И.М. Секерина [35], Л.В. Буряк [34, 98] и ряд других. Горимость лесов и степень воздействия лесных пожаров на растительность в значительной степени формируются особенностями местопроизрастания насаждений, которые определяют не только возможность возникновения, распространения и интенсивности горения, но, последующее изменение лесной растительности и водно-теплового режима почв в результате пожара [34, 99]. Класс природной пожарной опасности насаждения (от I класса – очень высокая опасность до V класса – низкая опасность) устанавливается согласно утвержденной методике в процессе лесоустройства [100] по наличию или отсутствию древесной растительности, типу леса (лесорастительным условиям), породному составу древостоя, запасу лесных горючих материалов (ЛГМ) и ряду других лесоводственно-таксационных показателях. В связи с тем, что природная пожарная опасность менее динамична, чем условия погоды, большинство долгосрочных мероприятий (например, меры противопожарного обустройства лесов, маршруты патрулирования) проектируют с учетом ее классов [101]. В последнее время данная классификация была модернизирована путем привязки объектов загорания к лесным районам, что позволили привести ее к современным законодательным требованиям [102]. При этом практическое использование

данной классификации в текущей лесопожарной деятельности в определенной степени сдерживается из-за отсутствия единых баз данных и актуальной лесоустроительной информации в цифровом виде.

Учитывая цель исследования, сконцентрируем внимание именно на пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды. Исследованиями в этом направлении занимались такие известные учёные как В.Г. Нестеров [9, 10], И.С. Мелехов [11], Н.П. Курбатский [13, 14], М.А. Софронов [19], Г.Н. Коровин [22], Г.П. Телицын [24, 103] и др.

Как было сказано выше, классическая методика В.Г. Нестерова, в условиях редкой сети метеостанций, не всегда адекватно характеризует текущую ситуацию в лесах (в первую очередь из-за сложности учета фактических осадков). С целью решения этой проблемы в нашей стране разрабатывались несколько различных модификаций указанной методики, а также ряд похожих методов оценки данного типа пожарной опасности [104, 33, 36, 105]. Так, специалистами СПбНИИЛХ были разработаны, на основе экспериментальных исследований изменений послойной влажности лесных горючих материалов в зависимости от метеорологических факторов, две шкалы ПВ-1 и ПВ-2 [16], которые схожи по базовым принципам со шкалой В.Г. Нестерова, но отличаются более сложной методикой корректировки показателя в зависимости от осадков. Проведенные исследования показали, что характер увлажнения и высыхания напочвенного покрова резко отличается от характера увлажнения и высыхания подстилки. Последняя значительно медленнее высыхает, а для ее увлажнения, по сравнению с напочвенным покровом, требуется значительно большее количество осадков. Это вызвало необходимость определения показателей влажности с отдельным учетом осадков для напочвенного покрова и подстилки. В итоге были предложены таблицы, по которым определяются изменения значений показателей влажности покрова (ПВ-1) и подстилки (ПВ-2) после выпадения осадков разной величины.

Существует также показатель влажности зеленых мхов с учетом их гигроскопичности (ПВГ), который учитывает поправку на гигроскопичность горючих материалов [16, 100, 104].

Следует отметить, что расчет по шкале Нестерова, ПВ-1 и ПВ-2 для каждой метеостанции доступен в ИСДМ-Рослесхоз. Проведенное анкетирование показало, что большее доверие вызывает региональная шкала В.Г. Нестерова (60.9%), чуть менее востребована КПО, рассчитанное по методике В.Г. Нестерова с классическими границами классов (федеральная шкала, 29.8%). На ПВ-1 приходится только менее 9% востребованности. Вместе с тем, заложенный в данных шкалах подход (скорректировать значение показателя, основанного на той же самой редкой сети метеостанций с фактическими данными о горимости за анализируемый период) не повышает адекватность прогноза, так как детализация сведений об осадках осталась прежней.

Известен также подход к оценке уровня природной пожарной опасности по условиям погоды, основанный на построении модели логистической регрессии [106], где на вход поступают кумулятивные значения метеорологических параметров, а на выходе получается значение показателя природной пожарной опасности в интервале от 0 до 1. В данном исследовании в качестве исходных метеоданных используются температура воздуха, температура точки росы, влажность воздуха, количество осадков, облачность, атмосферное давление, влажность почвы, температура почвы, скорость ветра. Несмотря на то, что данное исследование играет большую роль в развитии подходов по использованию методов машинного обучения для оценки пожарной опасности, применение методов именно логистической регрессии не всегда оправдано. О некоторых проблемах, связанных с несбалансированностью исходных данных [107], пишут и сами авторы [106]. Но больше всего сомнений вызывает то, что они включают в расчет текущего дня значения из предыдущих дней, ошибочно считая, что кумулятивные признаки малоинформативные [29]. Этот подход является

ошибочным, так как не учитывает специфику накопления влаги в растительных материалах.

Следует отметить, что в мировой практике существует большое количество методик оценки пожарной опасности в лесах [28], в частности: национальная система оценки пожарной опасности в США NFDRS (National Fire Danger Rating System), CFFWIS (Canadian Forest Fire Weather Index System – Канадская система индекса пожарной погоды в лесах), FWI (Fire Weather Index – индекс пожарной погоды, часть Канадской CFFDRS), FFMC (Fine Fuel Moisture Code – код влажности мелкого горючего материала), DMC (The Duff Moisture Code – код влажности лесной подстилки), VPD (Vapor Pressure Deficit – дефицит парциального давления водяного пара), EDDI (The Evaporative Demand Drought Index – индекс испарительной засухи), SPEI (Standardized Precipitation Evapotranspiration Index – стандартизированный индекс осадков и эвапотранспирации), Indicators such as the Palmer Drought Index (индекс засушливости Пальмера), BUI (Buildup Index – индекс накопления горючих материалов), DC (Drought Code - код засухи). Учитывая уровень развития каждой из систем, а также то, что США и Канада наиболее близки к нам по лесоклиматическим особенностям, то в качестве лучших практик целесообразно рассматривать первые две.

Система National Fire Danger Rating System (NFDRS), используемая в США, имеет ряд принципиальных особенностей [108], которые отличают её от других систем оценки пожарной опасности, таких как российские методики (например, индекс Нестерова) или европейские подходы. Ключевые отличия состоят в следующем.

Предусматривается комплексный подход к факторам пожарной опасности. NFDRS интегрирует широкий спектр данных, включая погодные условия (температура, влажность, осадки, скорость ветра), состояние топлива (растительности) и топографию местности. Это делает её более детализированной по сравнению с системами, которые опираются преимущественно

на метеорологические индексы, такие как индекс Нестерова, где основное внимание уделяется температуре и осадкам.

Система состоит из нескольких компонентов — Ignition Component (IC, вероятность возгорания), Spread Component (SC, скорость распространения), Energy Release Component (ERC, энергия выделения) и Burning Index (BI, общий индекс горения). Эти модули позволяют учитывать разные аспекты пожарной опасности и адаптировать прогнозы под конкретные условия местности и типы растительности, что реже встречается в более унифицированных системах.

Существует возможность учитывать тип топлива, классифицируя растительность по моделям топлива (fuel models), которые описывают её горючесть, плотность и влажность. Это позволяет точнее предсказывать поведение огня в зависимости от экосистемы (например, леса, степи, кустарники), в отличие от систем, где топливо рассматривается более обобщённо.

Система NFDRS обладает возможностью динамической оценки влажности топлива (модуль Fuel Moisture Content), которая рассчитывается для разных классов растительности (1-часовые, 10-часовые, 100-часовые и живые растения) и обновляется ежедневно на основе погодных данных. Это более сложный подход, чем в системах, использующих статические или упрощённые показатели влажности.

NFDRS разработана с акцентом на поддержку оперативных решений в управлении пожарами (например, распределение ресурсов, планирование патрулирования). Она предоставляет не только оценку риска, но и конкретные индексы, которые помогают пожарным службам действовать проактивно, что отличает её от систем, ориентированных больше на теоретическую классификацию опасности. Система адаптируется к климатическим и экологическим особенностям разных регионов США, что делает её гибкой для использования в разнообразных условиях. В отличие от этого, многие другие системы (например, российские или австралийские) могут быть менее универсальными и требовать значительных доработок для применения за пределами своих регионов.

NFDRS была создана в 1970-х годах как единый стандарт для США, объединивший разрозненные региональные системы. Это дало ей преимущество в согласованности и масштабируемости по сравнению с системами, которые развивались фрагментарно или не имеют единого национального стандарта. В сравнении, например, с российским подходом (индекс Нестерова), NFDRS более сложна и требует больше данных для расчётов, но обеспечивает более точные и детализированные прогнозы. Индекс Нестерова проще в применении, но менее чувствителен к вариациям топлива и топографии. Таким образом, NFDRS выделяется своей многокомпонентностью, ориентацией на топливо и практической применимостью в управлении пожарами.

Прямое заимствование для использования в России подобного подхода к оценке влагосодержания невозможно из-за проблем с отсутствием детальных таксационных описаний, поскольку действующая Лесоустроительная инструкция [109] не предусматривает сбор сведений о структуре и запасе растительных горючих материалов.

Канадская система расчета пожарной опасности в лесах CFFDRS немного проще американской и основывается на оценке влагосодержания растительных горючих материалов. При этом влагосодержание отдельно рассчитывается для тонкодисперсного топлива (влажность подстилки), для слабо уплотненного топлива (напочвенного покрова) и для глубоких компактных органических слоев почвы (показатель засухи). В результате промежуточных расчетов получают два индекса ожидаемого темпа распространения кромки пожара и индекса количества доступного к горению топлива, которые впоследствии объединяются в единый индекс пожарной опасности [110].

Как уже отмечалось, наибольшее значение для текущих (оперативных) решений имеет пожарная опасность в зависимости от условий погоды. В настоящее время в Российской Федерации этот вид пожарной опасности напрямую используется, прежде всего, как для регламентации работы лесопожарных формирований (например, кратность авиационного патрулирования [82]), так и для принятия управленческих решений, связанных с маневрированием сил и средств

пожаротушения. Сведения о пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды являются важным параметром в алгоритмах лесопожарного прогнозирования (от обобщенных прогнозов горимости и вероятности возникновения пожаров до прогнозов распространения отдельных пожаров); они также учитываются на этапе оценки эффективности мер, принятых для охраны лесов от пожаров [111].

Как будет подробнее описано далее, большинство применяемых в России методик оценки пожарной опасности в зависимости от условий погоды состоят из двух составляющих: индекс пожарной опасности (который рассчитывается в зависимости от значений метеопараметров), а также шкала пожарной опасности, границы которой определяются на основании ретроспективных данных о реально возникающих пожарах на рассматриваемой территории. Учитывая отсутствие детализированных сведений о запасах растительных горючих материалов, в Российской Федерации для определения пожарной опасности по условиям погоды официально утверждена упрощенная методика расчета индексов на текущий день на основе подхода предложенного В.Г. Нестеровым [100]. В связи с тем, что единая шкала не может учесть все местные особенности, предусмотрена возможность утверждения Рослесхозом для каждого региона своей региональной шкалы, если результаты соответствующих исследований будут представлены на согласование. К сожалению, не определены требования к тому, в каком виде должны быть представлены материалы и как должна проходить процедура их проверки. На момент работы над диссертацией региональные шкалы утверждены по 11 субъектам Российской Федерации [112]. Все они представляют собой классическую шкалу В.Г. Нестерова, но с границами классов, адаптированных под местные условия. При этом ряд исследований показывает низкую корреляцию значения класса пожарной опасности с реальной горимостью лесов, что объясняется недостаточным качеством метеобеспечения, связанного с редкой сетью метеостанций и, прежде всего, невозможностью адекватно оценить выпадающие осадки (особенно внутримассовые) [113].

Существуют проблемные вопросы и в качестве исходной информации, используемой для расчета индексов пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды. По состоянию на 2024 год в полномочиях по мониторингу пожарной опасности в лесах содержится неопределенность. С одной стороны часть мониторинга окружающей среды возложена на Росгидромет; с другой, в соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации, мониторинг пожарной опасности в лесах является составной частью охраны лесов от пожаров. Классификацию пожарной опасности в лесах, в соответствии с нормативными актами, устанавливает Минприроды России. Причем полномочия (наряду с финансированием) по осуществлению такого мониторинга на землях лесного фонда переданы регионам. Обязанность предоставлять сведения о пожарной опасности в лесах на указанных территориях возложена на органы исполнительной власти субъектов Российской Федерации, уполномоченные в области лесных отношений.

На практике исходные метеоданные необходимые для расчета показателей пожарной опасности в лесах формируются на метеостанциях, подведомственных Росгидромету, а расчет показателей осуществляется сразу несколькими учреждениями, в том числе: техническими средствами ИСДМ-Рослесхоз, непосредственно на метеостанциях, а также самостоятельно в некоторых лесничествах. Специально проведенный опрос показал, что большинство респондентов (60%) основным источником информации считают ИСДМ-Рослесхоз (таблица 1.6). В 31 субъектах Российской Федерации такая информация поступает от региональных подразделений Гидрометцентра России (на договорной основе).

Фактически все исходные данные формируются федеральными учреждениями, и методика расчета также устанавливается федеральными учреждениями, но при этом обязанность за предоставление этих сведений в Федеральную диспетчерскую службу возложена на регионы. Учитывая специфику метеобеспечения, целесообразно возложить полномочия по формированию сведений о пожарной опасности в лесах на единый федеральный

орган, предоставив возможность бесплатного доступа к этим данным всем заинтересованным лицам.

Таблица 1.6 – Результаты опроса об источнике информации о пожарной опасности в лесах

<b>Основной источник информации</b>	<b>ДФО</b>	<b>ПФО</b>	<b>СЗФО</b>	<b>СКФО</b>	<b>СФО</b>	<b>УФО</b>	<b>ЦФО</b>	<b>ЮФО</b>	<b>Всего</b>
ИСДМ-Рослесхоз	55,6%	61,8%	62,1%	83,3%	51,0%	81,8%	58,9%	62,9%	60,2%
Гидромет-центр	22,2%	36,8%	17,2%	16,7%	25,5%	18,2%	41,1%	34,3%	31,0%
Рассчитываю т самостоятельно	22,2%	1,4%	20,7%	0,0%	23,5%	0,0%	0,0%	2,8%	8,8%

К сожалению, сведения, поступающие из разных источников, очень часто расходятся. Одна из причин состоит в том, что используемые в России показатели расчета пожарной опасности являются кумулятивными (накопительными). Важно, чтобы начало расчета (а это момент схода снежного покрова) было одинаковым. В некоторых случаях поступление данных в ИСДМ-Рослесхоз в начале сезона начинается по ряду метеостанций позже, что приводит к ошибке. Также приводят к ошибке и технические сбои (пропуски) в поступлении данных.

Другая серьезная проблема связана с методикой учета осадков. Учитывая редкую сеть метеостанций, при обнулении или корректировке индексов необходимо учитывать только обложные осадки. Отдельные внутримассовые дожди, хотя и отличаются обычно большей интенсивностью, но всегда носят локальный характер, снижая пожарную опасность лесов только на части территории. В советские годы, при ручном расчете, на каждой метеостанции или в авиаотделении охраны лесов от пожаров это учитывали (например, на основе опыта синоптика). Были попытки выявлять внутримассовые осадки по ряду косвенных признаков (например, сохранение давления и температуры) [26]. Учитывая сложности с автоматизацией этого процесса, в официальных методиках расчета класса пожарной опасности характер осадков не учитывается [100].

Как российские, так и зарубежные источники отмечают, что сведения, получаемые с метеостанций, адекватно характеризуют ситуацию обычно в радиусе до 30 км на равнине и не более 10 км в условиях горного рельефа [114]. Сложнее прогнозировать при этом скорость и направление ветра, где точность прогноза, как правило, не превышает нескольких километров. Это распространяется и на качество соответствующих прогнозов. С этой точки зрения, плотность метеостанций является важным показателем качества метеобеспечения охраны лесов от пожаров. К сожалению, существующее в России количество метеостанций явно недостаточно (рисунок 1.6), что требует в перспективе, при возможном отсутствии средств на расширение сети метеостанций, задействования космических данных (например, при детализации учета осадков) и применения технологии реанализа метеоданных [115]. В большинстве стран с развитой системой охраны лесов от пожаров на всех крупных пожарах организуют временный метеопост, а инструкторы имеют карманные метеостанции [116].

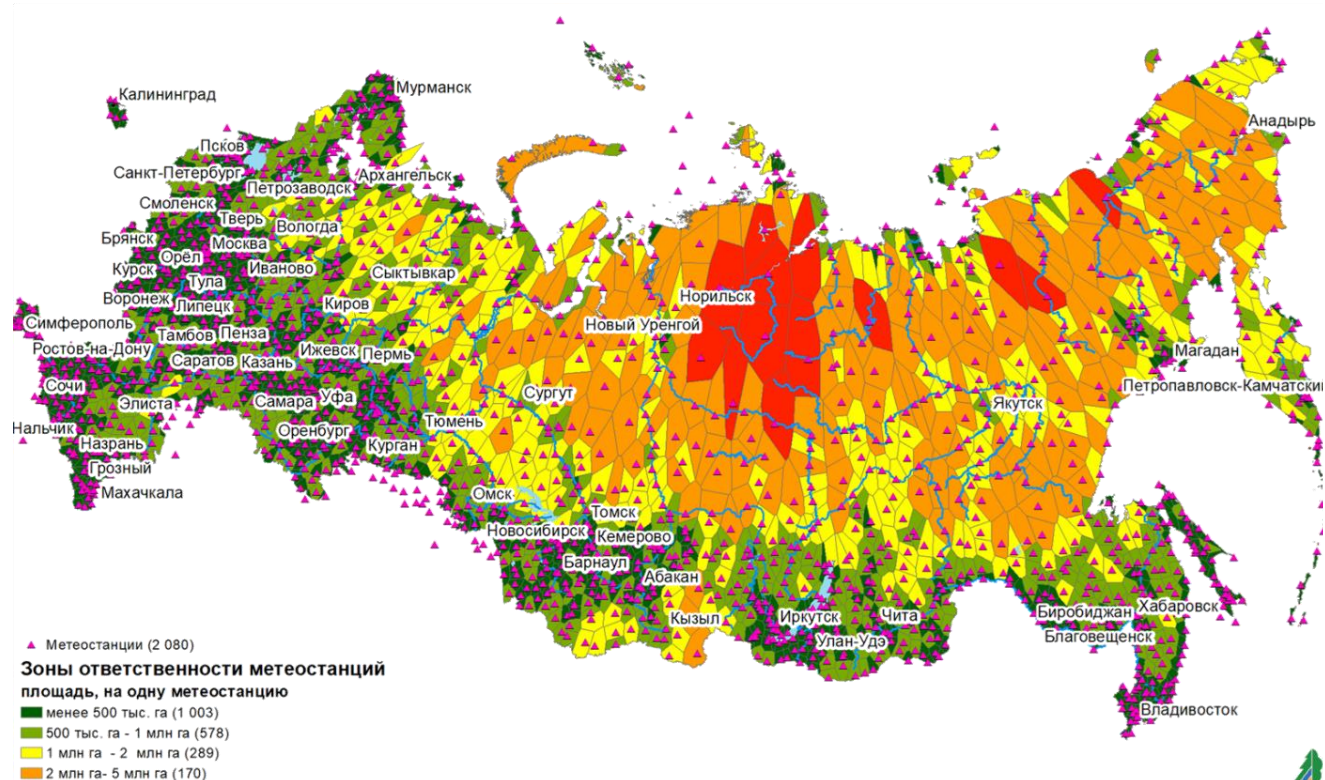


Рисунок 1.6 – Плотность метеостанций на территории Российской Федерации

Полученные в результате оценки пожарной опасности индексы и в других странах, и в России используются не только для прогнозов развития пожаров, но и для регламентации работы лесопожарных служб. Существует фундаментальная проблема в невозможности единым индексом учесть все возможные региональные особенности. При использовании региональных шкал требуется соблюдать баланс между гибкостью (быстро учесть все нюансы) и необходимостью контроля за правильностью принятия управленческих решений (исключения необоснованных затрат).

Следует обратить внимание на отличие подходов в использовании таких сведений. Российский подход предусматривает сначала построение границ индексов для деления ситуаций на ограниченное число классов (в частности, по КПО – от 1 до 5) с последующей привязкой к ним регламентных работ.

В США до регионов доводятся сами значения индексов, с учетом которых и при наличии сведений о ранее происходивших пожарах регламентируются работы в Планах тушения пожаров. В частности, указывается в качестве критериев выполнения тех или иных мероприятий, при каком значении индексов, на территории требуется проводить эвакуацию населения. Кроме базовых индексов, лесопожарным формированиям доступен и целый ряд вспомогательных показателей, что позволяет региональным менеджерам выбирать на основе своего опыта те индексы, которые более адекватно описывают обстановку именно в их регионе (т.е. нет жесткой регламентации).

Необходимо также отметить, что в России действия руководителей тушения крупных пожаров нормативно не увязаны с индексом пожарной опасности, и они могут принимать решения только на основе своего опыта.

#### 1.3.4 Прогнозирование лесных пожаров

Под прогнозированием лесных пожаров следует понимать совокупность задач, которые условно можно разделить на следующие группы: прогнозирование вероятности возникновения лесных пожаров; прогнозирование динамики

распространения лесных пожаров; прогнозирование рисков негативного возникновения (включая вероятности возникновения чрезвычайных ситуаций), связанных с лесными пожарами; прогнозирование задымления, связанного с лесными пожарами.

Несмотря на большую популярность данного направления [15, 17, 18, 37–39, 41, 42, 44, 46–49, 51, 117–129] большое количество публикаций и исследований, непосредственно в практике работы лесопожарных служб данные алгоритмы практически не применяются из-за относительно больших погрешностей. Трудность решения этой проблемы прогнозирования определяется несколькими факторами:

- влиянием погоды в районе пожара, которая существенно меняется в каждой точке, что не дает возможность точного измерения (локальная погода сильно отличается от данных по ближайшей метеостанции);

- прогнозом метеопараметров, возможность которого ограничена на фундаментальном уровне (из-за эффектов детерминированного хаоса);

- влиянием микрорельефа, информация о котором с нужной детализацией либо в принципе отсутствует, либо относится к сведениям ограниченного доступа (секретна);

- большой изменчивостью лесорастительных и иных природных условий в районе пожара (даже существующая совокупность официальных лесотаксационных описаний, которая явно недостаточна для полной оценки природной пожарной опасности, не консолидирована в единую базу данных, а в ряде случаев имеется только в виде устаревших бумажных материалов);

- ограниченной по объему и не всегда достоверной из-за сильного влияния человеческого фактора ретроспективной информацией о лесных пожарах.

Ранее предпринимаемые попытки *прогнозирования вероятности возникновения лесных пожаров* на основе статистических методов не нашли широкого распространения из-за низкой точности [113]. Обзор научных публикаций показывает, что в мировой практике разработано более сорока моделей распространения низовых лесных пожаров и около десяти моделей верховых

лесных пожаров. Однако только несколько моделей доведены до уровня практического использования в программных комплексах.

Вместе с тем попытки использовать статистические методы для поиска закономерностей, которые можно было бы использовать для прогнозирования возникновения лесных пожаров, не останавливаются [36, 130, 131]. Многие исследователи используют логистическую регрессию или схожие линейные модели [132, 133], хотя взаимосвязь между факторами воздействия и горимостью не является линейной. Некоторые авторы пытаются повысить достоверность прогнозов, используя непараметрические модели [134].

Известны результаты использования детерминированно-вероятностного подхода оценки вероятности возникновения пожаров. В России популярным подходом является использование для этой цели закона Пуассона [135]. Стоит отметить, что он эффективен только в части для редко возникающих событий и может применяться на малых территориальных единицах и только тогда, когда частота возникновения пожаров мала, а длительность набора ретроспективных данных велика. Кроме того, при таком подходе сложно учитывать другие факторы (например, условия погоды).

В последние годы очень популярны методы прогнозирования пожаров, основанные на нейросетевых алгоритмах [136–138]. Подобные алгоритмы хорошо себя показали в задачах распознавания образов, однако при прогнозировании временных рядов их применение может быть оправдано только в случае отсутствия явных закономерностей. Один из главных недостатков нейросетевых подходов – это эффект переобучения, особенно если в исходных данных много случайных выбросов [136, 139]. С этой точки зрения, видимо, предпочтительней построение математических моделей, основанных на параметрических методах машинного обучения. Например, в работе [140], на примере 517 лесных пожаров в Португалии в период с 2000 по 2003 год, показано, что метод на основе обычной нейросети хуже таких методов, как "Ядро полинома SVM (вторая степень)", "Случайные леса", "Радиальная функциональная сеть", "Линейная регрессия" и "Изотоническая регрессия". Непосредственно в этом исследовании предлагается использовать

прогнозирование с использованием генетического программирования (геометрическо-семантические и генетические операторы).

Научных публикаций, описывающих использование различных параметрических методов машинного обучения (не нейронных сетей) для прогнозирования лесных пожаров, становится все больше. Известна система прогнозирования риска лесных пожаров, основанная на трех различных моделях машинного обучения, для изучения влияния антропогенных факторов на лесные пожары в Испании [141]. Авторы внедрили "Случайный лес" (RF), повышающие деревья регрессии (BRT) и машины опорных векторов (SVM) для определения прогноза риска пожара и обнаружили улучшение точности прогноза по критерию оценки площади под кривой AUC (это один из популярных методов оценки точности прогнозов).

Начинают появляться публикации, в которых предлагается объединять нейросетевые методы и другие методы машинного обучения. Предложен систематический способ создания модели прогнозирования риска возникновения и обнаружения природных пожаров, который использует текущие спутниковые данные, данные о погоде, и исторические данные о пожарах [142]. При этом заявляется, что модель машинного обучения показывает точность до 100 %. Несмотря на ряд вопросов к формированию исходных данных и к методике оценки оправдываемости прогноза, результаты заслуживают внимания.

Рассмотрим текущий уровень исследований вопросов прогнозирования динамики распространения лесных пожаров.

С начала 1940-х годов в США начал активно развиваться метод физико-математического моделирования пожаров. Создание его теоретической базы было завершено разработкой модели Р. Ротермела [117], которая в дальнейшем была адаптирована для условий распространения низовых лесных пожаров СССР, присущих различным регионам целым рядом авторов. Именно в эту модель вписывается современная американская классификация РГМ с разделением на четыре класса по временному лагу и с выделением топливных моделей как

типовых комплексов РГМ: 20 моделей для оценки пожарной опасности в системе NFDRS и 13 моделей для прогноза поведения пожаров в системе BehavePlus.

Ф. Альбини с соавторами [39] в качестве модели контура пожара предложили использовать уравнение замкнутой кривой, которое в полярной системе координат с осью, совпадающей с направлением фронта пожара. При моделировании тушения пожаров косвенными способами чаще всего используются копирующие способы, при которых расстояние от кромки до заградительной полосы задается временем, за которое огонь должен достичь барьера, т.е. контура пожара, ограниченного полосами, подобен контуру пожара, потушенного способами прямого тушения. Математическое описание процесса тушения в обоих случаях одинаково. В модели была использована зависимость замедления скорости сгорания от влагосодержания, полученная Д. Андерсоном [47] на основе обработки экспериментальных данных.

Математическому моделированию возникновения верховых лесных пожаров посвящены работы ряда авторов [143–145] с предложением моделей, построенных на основе использования физических параметров и экспериментальных данных возникновения загорания в нижних ярусах леса от очагов низовых лесных пожаров и распространения верховых лесных пожаров. Из других работ по моделированию следует отметить математическую модель, представленную Д. Морваном [48], которая была использована для моделирования перехода низового лесного пожара в верховой при горении средиземноморских зарослей кустарников.

Рядом отечественных исследователей также разрабатывались модели распространения кромки пожара на основе экспериментальных данных. В работе С.М. Вонского [17] моделью можно считать таблицу зависимости скорости продвижения кромки от ряда факторов, в работе Г.А. Амосова [119] – несколько корреляционных уравнений, где при моделировании контура пожара в виде эллипса скорость пожара по флангу будет уменьшаться с увеличением скорости пожара по фронту, у М.А. Софронова [18] – таблицу коэффициентов. Г.Н. Коровиным [38] была получена полиномиальная модель скорости распространения пламени на основе обработки результатов 72 огневых опытов. Характерной

особенностью этой модели является то, что она определяет не только скорость движения огня в направлении ветра для ряда типичных лесных условий, но и скорости распространения пожара в направлениях, перпендикулярных ветру и встречном к нему. Определяются также величины площади, пройденной огнем, и длины кромки пожара в зависимости от времени.

Каждая из этих работ ценна конкретными данными о скоростях процесса, но, учитывая большое разнообразие растительности, характера рельефа местности и погодных условий, выводы экспериментаторов не могут быть широко применены. Например, в работе М.А. Софронова [18] представлены лишь несколько коэффициентов, отражающих влияние важнейших факторов на горение слоя из однородного горючего материала (солома, мох и т.п.).

Известны многочисленные попытки рассматривать горение на кромке пожара как процесс тепло-массообмена и выразить скорость распространения пожара на основе законов физики через параметры горючего материала и условия среды [15, 42, 121]. Однако при всей теоретической ценности этих разработок предложенные математические модели распространения горения по площади на практике не нашли применения из-за сложности получения необходимых исходных данных.

Примером аналитического подхода к описанию лесных пожаров может служить цикл работ Ю.А. Гостинцева и Л.А. Суханова [120] по аэродинамике атмосферы при больших пожарах. Авторы ограничились описанием плоского турбулентного течения в атмосфере, вызванного интенсивным точечным пожаром (т.е. пожаром, размер которого меньше высоты подъёма нагретых газов).

Существует ряд работ, связанных с прогнозированием конфигурации контуров пожаров. Приводятся аналитические выражения для описания контуров небольших пожаров [15, 37, 38]. Математическая модель, предложенная Н.П. Курбатским и Г.П. Телицыным [15], описывает форму пожара в виде фигуры, состоящей из двух полуэллипсов, имеющих общую ось. Многофакторная модель скорости низового пожара Н.П. Курбатского и Г.А. Ивановой [37] основана на данных, полученных в ходе экспериментов. Она показывает влияние разных

факторов (ветра, влагосодержания и запаса ЛГМ) на скорость распространения кромки пожара.

Изучению механизмов теплообмена некоторых растительных материалов и созданию на этой основе математической модели скорости распространения огня посвящены работы Э.В. Конева и А.И. Сухина [121, 122]. На базе уравнений сохранения энергии и теплового баланса с учётом среднестатистических величин (расстояние между частицами, угол направленности, время зажигания и сгорания), предложена модель скорости распространения горения по слоям из лишайника, сосновой хвои и травяной ветоши. Модели сложны в реализации, так как рассматривается распространение огня в твердой фазе от частицы к частице. Кроме того, они не рассматривают динамику газовой фазы при пожаре.

Математическая модель Г.А. Доррера [41] описывает процесс распространения лесного пожара как бегущую волну в неоднородной и анизотропной среде. Это сложная система моделирования процессов распространения и локализации лесных пожаров, включающая ряд вспомогательных математических моделей, например, модели пространственной структуры слоев лесного горючего и динамики его влагосодержания.

Значительный вклад в математическое моделирование лесных пожаров внесли исследования, выполненные под научным руководством А.М. Гришина [42] и его последователями в Томском госуниверситете. Предложенная А.М. Гришиным общая математическая модель лесных пожаров [42, 124, 125], учитывающая законы сохранения массы, импульса, энергии, а также физико-химические процессы, описывает процессы возникновения и развития горения во всех ярусах леса. Тепло из фронта пожара в несгоревшую зону передается конвекцией, турбулентной теплопроводностью и излучением. Лес рассматривается как многокомпонентная, реакционная недеформируемая пористая многоярусная среда. Математическая модель учитывает взаимное влияние процессов в приземном слое атмосферы, пологе леса и подстилающей поверхности. На основе этой модели решено множество частных задач, например построение двумерной

модели распространения верховых пожаров [45]. В тоже время модели очень сложны для применения в практике.

Разработчики Г.Н. Коровин, С. И. Душа-Гудым, М.А. Шешуков и др. "Временных нормативов на выполнение работ по тушению лесных пожаров" (1986 год) на основании модели контура (эллипса) определили площади и периметры лесных пожаров при среднесуточной скорости распространения огня по фронту [146]. Выполненные расчеты показали, что приведенные в этом документе площади и периметры пожаров могут быть рассчитаны с достаточно высокой точностью.

В работе В.В. Козодерова с соавторами [123] описываются основы создаваемого оригинального программно-алгоритмического обеспечения решения задачи распознавания природно-техногенных объектов, в том числе лесных пожаров, и оценки параметров их состояния по данным гиперспектрального зондирования.

Г.А. Доррером с соавторами [51] были рассмотрены возможные методы прогнозирования распространения лесных пожаров на основе спутниковой информации. Было выполнено исследование статистических данных о пожарах, использованы методы OLAP и нейросетевого прогнозирования; разработана программа для преобразования данных, а также ГИС-ориентированное приложение для визуализации результатов прогноза. Было показано, что при имеющемся уровне информационного обеспечения наиболее эффективным инструментом прогнозирования параметров крупных (свыше 200 га) лесных пожаров являются нейросетевые технологии. Предложены и верифицированы для ряда регионов Восточной Сибири и Дальнего Востока нейросетевые модели прогнозирования суточного прироста площади, пройденной пожаром.

М.С. Вдовенко [44] рассмотрел модель бегущей волны при оценке распространения огня. В рамках этого подхода существует возможность оценки места горящей кромки пожара с использованием характеристик реальных условий распространения огня. Этот метод опирается на теорию локальных фронтов. В ее рамках могут быть рассмотрены решения практически важных проблем: изменения

внутренних параметров пожара, построение адекватного математического вероятностного аппарата для пожара. С другой стороны указанный подход может быть достаточно легко реализован с точки зрения численной реализации, в том числе для построения рассматриваемых в работе параллельных алгоритмов.

А.П. Созником с соавторами [147] предложена модель годографа скорости (единичного контура горения) распространения лесного низового пожара. Годограф скорости описывается эллипсом, параметры которого определяются скоростями распространения кромки пожара в направлениях по ветру, против ветра и поперек ветра соответственно. В последующей модели [126] рассмотрено влияние различных характеристик влажности горючего материала на распространение пожара по ландшафту.

В работе Ю.А. Андреева с соавторами [148] показано, что развитие (динамика) пожара зависит от метеорологических и лесопирологических факторов (включая рельеф местности), а также от наличия и параметров сети противопожарных барьеров естественного и искусственного происхождения, останавливающих или замедляющих распространение горения по территории.

Обобщая, выделим из множества современных моделей динамики природных пожаров математические, физические и имитационные модели, позволяющие достаточно точно воспроизводить распространение огня на различных уровнях пространственной детальности и при разных условиях [149–151]. Первая группа моделей, основанных например, на использовании теорий клеточных автоматов, самоорганизованной критичности или перколяции, имитирует развитие пожара, как некой математической абстракции. На основе обзора литературных данных по проблеме моделирования распространения лесных пожаров А.А. Кулешов [43] разделил существующие математические модели на четыре группы: 1) прогноза динамики распространения лесного пожара; 2) прогноза геометрических параметров лесного пожара; 3) прогноза характеристик течения, тепло – и массопереноса во фронте и зоне пожара; 4) общие математические модели, в рамках которых могут быть спрогнозированы различные характеристики во фронте и в зоне лесного пожара.

Физические модели воспроизводят происходящие при распространении огня процессы, включая такие, как излучение, конвекцию, горение, пиролиз и некоторые другие. Имитационные модели основаны на экспериментально установленных статистических зависимостях характеристик пожара от метеорологических условий, типа и состояния природных горючих материалов, рельефа местности. Имитационные модели получили гораздо большее распространение при решении задач оперативного прогнозирования динамики природных пожаров.

С точки зрения методологии построения модели можно выделить [40, 152]:

– модели, базирующиеся на физике горения, которые описывают физические механизмы составляющих пожар процессов для получения интересующих параметров пожара. Все необходимые константы вычисляются на основе исходной теории. Модели не используют экспериментальных данных;

– интерполяционные модели используют экспериментальные данные, полученные на природных пожарах, для определения статистических зависимостей между входными и выходными характеристиками модели пожара. Эти модели не учитывают физические процессы рассматриваемого пожара. Точность применения таких моделей в прогнозировании распространения пожара ограничена подобием условий, при которых происходили природные пожары;

– экспериментально-аналитические модели комбинируют физическую теорию со статистическими методами для вывода зависимостей, описывающих развитие пожара. Неизвестные параметры (константы) определяются экспериментально.

На основе обзора литературных данных по проблеме моделирования распространения лесных пожаров А.А. Кулешов [43] разделил существующие математические модели на четыре группы: 1) прогноза динамики распространения лесного пожара; 2) прогноза геометрических параметров лесного пожара; 3) прогноза характеристик течения, тепло – и массопереноса во фронте и зоне пожара; 4) общие математические модели, в рамках которых могут быть спрогнозированы различные характеристики во фронте и в зоне лесного пожара.

В известных лесопирологических моделях [23, 39, 41, 47, 117, 121, 145] как правило не учитываются законы сохранения массы химических компонентов и закон сохранения количества движения, а при определении контура лесного пожара используется эмпирически заданная скорость распространения фронта лесного пожара. Такой метод позволяет достаточно просто определять контур лесного пожара и площадь, пройденную огнем. В то же время этот упрощенный подход не позволяет учитывать взаимное влияние приземного слоя атмосферы и фронта лесного пожара друг на друга и предсказывать предельные условия воспламенения и распространения лесных пожаров, при реализации которых в окружающей среде процесс горения не возникает или прекращается. Таким образом, использование физических моделей затруднено спецификой рассматриваемой предметной области. Для их применения требуется большое количество разнородных исходных данных, характеризующих как область местности, на которой развивается пожар, так и метеоусловия. Поскольку факел пламени распространяется в трехмерном пространстве, для повышения точности модели необходимо рассматривать физико-химические процессы, развивающиеся в объемной проекции. Исходные данные, характеризующие форму, размеры и расположение пространственных элементов зоны пожара слабо структурированы. Данные, характеризующие метеоусловия, как правило, не всегда точны, так как расположение используемой метеостанции может быть удалено на достаточно большое расстояние от объекта, а применение походных метеостанций требует от исследователей определенных навыков.

Использование информационных систем с экспериментальными моделями лесных пожаров, позволяют быстро моделировать распространение горячей кромки пожара за счет применения более простых по сравнению с аналитическими, математических моделей, хотя эти модели, полученные в том числе на основании результатов обработки экспериментальных данных, имеют более низкую точность и эффективность. Для улучшения качества прогнозирования информационных систем, базирующихся на экспериментальных моделях горения, требуются данные, полученные в результате проведения полевых и лабораторных экспериментов.

Подготовка полевых экспериментов представляет наибольшую сложность ввиду быстро меняющихся параметров внешней среды и большого количества специализированного оборудования для сбора и обработки данных, что требует значительных материальных затрат.

Развитие информационных технологий усилило интерес к экспериментально-аналитическим моделям, разработанным еще в прошлом веке. Так известно исследование в области прогнозирования распространения лесного пожара является работа, выполненная в Академии ГПС МЧС России [153]. В целом эта работа основана на упрощенной математической модели лесных пожаров, в том числе на более ранних работах [22, 154, 155]. В данной работе предлагается использовать эмпирические коэффициенты и усредненные значения целого ряда параметров, которые были еще в прошлом для очень ограниченных частных случаев. При этом никаких оценок того, как такое большое количество упрощений и допущений повлияет на точность прогнозирования, в работе не приводится. Несмотря на все недостатки данной методики, началось её внедрение в информационную систему "Атлас опасностей и рисков" [156].

Для оценки степени угрозы природного пожара могут использоваться модели, дающие вероятностный прогноз их поведения. Такие модели могут исходить из предположения стохастичности лежащих в основе динамики пожара процессов [157] или основываться на параметрах распределения погрешностей во входных данных [158]. В целом большинство известных исследований в данной области характеризуется локальностью применения моделей природных пожаров с их настройкой для отдельных регионов и проверкой качества получаемых результатов на небольшом числе фактических пожаров.

За последнее десятилетие появилось довольно большое количество комплексных информационных систем для мониторинга пожарной опасности и пожаров на природных территориях. Получили развитие методы, основанные на ассимиляции данных дистанционных наблюдений в модели динамики природных пожаров [159, 160], потенциально позволяющие уточнять положение фронта горения и определять параметры моделей для повышения качества прогнозов.

Однако проводимые в этом направлении работы, как правило, также ограничиваются исследованиями применимости подхода на отдельных пожарах.

Возможность широкого применения моделей динамики развития пожаров до недавнего времени серьезно ограничивалась возможностями оперативного получения актуальных данных о положении фронта очага и условиях горения. Оперативное получение такой информации является ключевым фактором для создания системы прогнозирования динамики пожаров на национальном уровне. Спутниковые данные, ввиду возможности их регулярного оперативного получения, являются незаменимым источником информации о положении фронта огня и условиях горения в масштабах всей России.

Современные спутниковые системы позволяют осуществлять детектирование очагов активного горения многократно в течение суток. Метод детектирования основан на оценке интенсивности излучения в среднем инфракрасном диапазоне, для которого характерны наибольшие различия между участками открытого пламени (800 – 1600 К) и окружающей их земной поверхности (~300 К). Важные для мониторинга природных пожаров требования оперативности и регулярности получения спутниковых данных для всей территории страны в настоящее время могут быть обеспечены только на основе преимущественного использования систем дистанционного зондирования низкого пространственного разрешения (300 – 500 м), таких, например, как приборы MODIS [161] и NPP-VIIRS [162].

В качестве наиболее часто используемого примера программного обеспечения для прогнозирования поведения пожара – это бесплатная система моделирования лесных пожаров Behave Plus, которая прогнозирует скорость распространения горения по одному измерению [113, 163]. Behave Plus может в режиме реального времени производить прогноз свободно распространяющегося или "управляемого" пожара. Она может быть использована при подготовке специалистов, планировании управления огнем, и в ряде случаев, при планировании мероприятий для ликвидации пожаров.

Система оценки лесных пожаров (Wildland Fire Assessment System, или WFAS), разработанная в США для федеральных, государственных и местных учреждений по землеустройству, представляет собой интегрированный веб-ресурс для поддержки решений по управлению пожарами [164]. Система позволяет получить в разрезе нескольких измерений прогноз возможного возгорания и данные об влияющих на это условиях, в том числе о влажности ЛГМ и классах пожарной опасности по системе NFDRS, индексах засушливости, стабильности нижних слоев атмосферы и растительном покрове. Система обеспечивает выполнение прогноза возможных лесных пожаров от 24 часов до 30 дней.

Европейская информационная система о лесных пожарах (EFFIS) поддерживает службы, отвечающие за защиту лесов от пожаров в ЕС и соседних странах, и предоставляет службам Европейской комиссии и Европейскому парламенту обновленную и достоверную информацию о лесных пожарах в Европе [165].

В Российской Федерации, единственной информационной системой, где реализованы алгоритмы прогнозирования распространения лесных пожаров, является ИСДМ-Рослесхоз, в которой используется имитационная модель распространения огня [166–168]. Данная модель базируется на канадской системе прогнозирования поведения пожара CFFBPS (Canadian Forest Fire Behavior Prediction System) и основана на экспериментальных данных, полученных на нескольких сотнях природных пожаров [52, 169, 170]. Ключевой частью модели является система уравнений, определяющих зависимость скорости развития фронта горения от типов природных горючих материалов, метеорологических условий и характеристик рельефа. Система осуществляет моделирование пожара на регулярной сетке с размером клеток 30 м. Каждая клетка сетки может принимать в некоторый фиксированный момент времени одно из состояний следующего ограниченного набора: территория активного горения, территория завершеного горения, территория возможного горения, территория невозможного горения (отсутствуют горючие материалы). На сетке отмечаются территории активного горения и уже пройденные огнем участки, а для каждой клетки в состоянии

активного горения строится эллипс и рассчитываются скорости фронтального и бокового распространения пожара, определяющие пройденную им область за заданный временной интервал.

Модель предоставляет возможность осуществлять как детерминированное, так и вероятностное прогнозирование развития пожара. Вероятностное моделирование динамики распространения огня исходит из предположения о наличии погрешностей во входных данных модели и ряде ее параметров, распределение которых известно. Для стохастического прогнозирования развития пожаров используется метод Монте-Карло, основанный на получении множества реализаций случайного процесса, в каждой из которых его вероятностные составляющие заменяются их реализациями [171].

Интеграция модели в систему ИСДМ позволяет решать задачи оперативной оценки потенциального вреда от пожаров. В качестве исходной (стартовой) области активного горения для проведения прогнозного моделирования используются результаты детектирования действующих пожаров (hot-spot) по данным MODIS с пространственным разрешением 1 км [172], обновляемые при отсутствии мешающего влияния облачности, до 6 – 8 раз в сутки. Алгоритм реконструкции периметра пожара включает в себя анализ пространственно-временной связности выявленных по данным MODIS очагов горения [53]. Выбор спутникового инструмента MODIS обоснован наличием многолетнего открытого архива данных наблюдений. Однако модель может использовать данные и других спутниковых аппаратов, способных детектировать тепловые аномалии (например, Suomi NPP-VIIRS, Landsat, Sentinel-2).

Для моделирования используется фактическая и прогностическая метеоинформация (данные о скорости и направлении ветра, количестве осадков, температурах воздуха и точки росы), поставляемая в ИСДМ-Рослесхоз от Гидрометеоцентра России, а также данные о типах природных горючих материалов, получаемых на основе карты растительного покрова России [167]. Источником данных о характеристиках рельефа местности служит широко

используемая цифровая модель SRTM Digital Elevation Map с уменьшенным до 230 м пространственным разрешением [173].

Результат прогнозирования развития пожара выводится в графический интерфейс ИСДМ-Рослесхоз и накладывается на соответствующий пожар на карте. В дополнение к графическому представлению прогноза приводится информация о площади, пройденной пожаром, метеоусловиях, возможном ущербе лесным запасам и силам, необходимым для тушения пожара (по предварительной оценке) и др. В ИСДМ-Рослесхоз также реализован вероятностный прогноз развития пожара.

Следующим шагом в развитии имитационной модели развития пожара является автоматическое определение границ (и соответственно площади) лесного пожара в случае его свободного распространения до затухания по естественным причинам. В качестве таких причин учитывается распространение до естественных границ (реки, озера и т.д.) или распространения до фронтальных осадков (на основе метеопрогноза).

Особенность моделей, основанных на прогнозировании рисков негативных последствий и возникновения чрезвычайных ситуаций, связанных с лесными пожарами, обычно заключается в том, что к уже рассматриваемым ранее моделям прогнозирования возникновения и распространения пожаров добавляются факторы риска негативных последствий, связанных с такими пожарами (например, расстояние до населенных пунктов или объектов экономики) [174].

В России, одним из интересных примеров такого подхода, который активно продвигается со стороны специалистов МЧС России, является комплексная методика оценки вероятности возникновения природного пожара для определенного участка местности, разработанная специалистами ФГБВОУ ВО "АГЗ МЧС России" [175]. Данная разработка включает в себя методику локализации участка местности, для которого будет производиться определение пожарной опасности и методику непосредственно оценки пожарной опасности. Такой подход позволяет оценить вероятность возникновения природных пожаров

в заданной географической области на основе обработанных данных дистанционного зондирования Земли и метеорологических условий [176].

Существует также подход к моделированию вероятности возникновения лесных пожаров на основе баесовских методов [177, 178], эффективность которых сильно зависит от качества и достоверности входных данных [179]. На основе таких методов создан, например аппаратно-программный комплекс "Безопасный город" [180].

При этом главный недостаток такого рода систем – отсутствие необходимого объема данных, достаточных для получения статистически значимого результата. Кроме того, при формировании комплексных критериев, объединяющих несколько факторов, сложно достоверно оценить относительную значимость, особенно если таких факторов выбрано несколько.

Отдельным направлением для прогнозирования являются модели, связанные с прогнозом задымления, от лесных пожаров. Если речь идет о прогнозировании на время более 6 – 12 часов, то ключевым ограничением выступает сложность прогнозирования ветра (особенно по высотам), что само по себе является нетривиальной задачей. Если необходимо прогнозировать не просто распространение дыма, а концентрацию отдельных соединений, входящих в состав пожарных эмиссий, то добавляется проблема вторичных реакций этих веществ с веществами, уже находящимися в атмосфере, а также естественного разложения их на другие соединения и зависимость этих процессов от температуры и давления.

Вместе с тем, успехи в развитии гидродинамических моделей атмосферных явлений, которые наблюдаются в последние годы, активизировали интерес к исследованиям в этом направлении [181]. Наиболее известными моделями являются: VSMOKE [182], SASEM [181], CALPUFF [181].

В России, наиболее приближенным к реальному использованию является алгоритм прогнозирования задымления, реализованный в информационной системе "Атлас опасностей и рисков" [156]. Он основан на методике [183], которая ориентирована на прогнозе распространения загрязнения атмосферы при

техногенных авариях. В алгоритме используется большое количество допущений и упрощений, что ставит под сомнение адекватность результатов. Кроме того, в открытых источниках отсутствует информация о проведении оценки достоверности получаемых результатов на реальных пожарах.

### 1.3.5 Эффективность принимаемых решений и системы охраны лесов от пожаров

В соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации полномочия по осуществлению на землях лесного фонда охраны лесов (в том числе осуществления мер пожарной безопасности и тушения лесных пожаров) переданы субъектам Российской Федерации. Несмотря на введенные недавно нормативы оснащения регионов лесопожарной техникой и инвентарем, а также наличие нормативов противопожарного обустройства лесов, регионам предоставлена существенная свобода в формировании системы охраны лесов от пожаров, определении зон контроля лесных пожаров, выборе способов и методов тушения. Эффективность деятельности органов государственной власти субъектов Российской Федерации в этой сфере определяется по конечному результату: минимизации вреда, причинённого пожарами лесам и объектам инфраструктуры, и затрат на реализацию соответствующих мер [56–58, 184]. Но поскольку получить численную оценку данных показателей зачастую затруднительно, предложено использование рейтинговой оценки с использованием следующих показателей (критериев) [185], характеризующих организацию обеспечения охраны лесов от пожаров, в соответствии с утвержденной методикой [186]:

- удельная площадь погибших от пожаров земель лесного фонда, %;
- соотношение средней площади лесного пожара текущего года и средней площади лесного пожара за последние 5 лет, га;
- доля крупных пожаров в общем количестве возникших лесных пожаров, %;
- доля лесных пожаров, ликвидированных в течение первых суток с момента обнаружения, в общем количестве ликвидированных пожаров, %.

Эти показатели связаны не только с качеством организации и обеспечения охраны лесов от пожаров [184, 187], но и с большим количеством других факторов, в первую очередь погодных. Кроме того, последние три из названных выше показателей напрямую влияют на первый, т.е. они зависят друг от друга.

На момент проведения исследований существует проект постановления Правительства Российской Федерации [188], предусматривающий внесение изменений в указанные показатели. В частности, предполагается, что будет рассчитываться отношение фактического значения площади лесных пожаров к среднепятилетним значениям. Если полученное значение больше 1, то деятельность субъекта Российской Федерации в сфере охраны лесов от пожаров признается неэффективной.

Хорошо известно, что положительный эффект следует ожидать только в случае, если средства выделяются на мероприятия, результативность которых можно тем или иным образом проверить. Эта главная суть проектно-целевого метода финансирования. В таком случае было бы разумным установить целевой показатель, по которому можно будет наиболее корректно оценить эффективность принимаемых мер. Указом Президента Российской Федерации В.В. Путина от 15.06.2022 № 382 [189] регионам поставлена задача обеспечить к 2030 году снижение площадей лесных пожаров не менее чем на 50 %, а также тушение всех лесных пожаров в первые сутки (тоже к 2030 году) (далее - Указ). В рамках исполнения данного Указа Правительством Российской Федерации разработана Методика расчета целевых показателей ежегодного сокращения площади лесных пожаров на землях лесного фонда для субъектов Российской Федерации на период до 2030 года [97].

В соответствии с данной методикой критерием эффективности принимаемых мер является не превышение площади лесных пожаров за рассматриваемые год, базовой величины, за которую принимается среднее значение за 5 лет (за 2017–2021 годы), умноженное на специальный понижающий коэффициент. Данные коэффициенты планируется постепенно понижать, чтобы достигнуть значения 0.5.

Причем предлагается выделить две группы субъектов, включив в первую те, на которые приходится 95 % среднепятилетней площади, пройденной огнем, на землях лесного фонда: Республика Саха (Якутия), Красноярский край, Иркутская область, Забайкальский край, Хабаровский край, Амурская область, Чукотский автономный округ, Магаданская область, Республика Бурятия, Камчатский край, Еврейская автономная область, Приморский край.

Следует отметить, что разработанная в рамках упомянутого выше Указа, методика является элементом ручного управления и на данном этапе никак не связана с методикой оценки эффективности реализации переданных полномочий в области лесных отношений [186]. Таким образом, для мониторинга ситуации, видимо, необходимо рассчитывать показатели из обеих методик. Несомненно, что данные показатели являются избыточными и, кроме того, их использование негативно влияет на систему учета лесных пожаров, стимулируя дробление пожаров.

Также нужно понимать, что не во всех случаях оперативность тушения положительно сказывается на оптимальности затрат. В некоторых случаях одна группа пожарных, даже доставленная к месту пожара только на второй день, может, воспользовавшись снижением интенсивности горения, вызванным низкими температурами, ликвидировать лесной пожар на третий день. При этом нерентабельно ради показателя "в первые сутки" затрачивать избыточные ресурсы. Следовательно, имеется необходимость выработки новых подходов к оценке организации и обеспечения охраны лесов от пожаров.

В зарубежной практике (США) имеются подходы к оценке эффективности мер по снижению природной пожарной опасности с разделением показателей (критериев) по уровням управления [190, 191] (таблица 1.7).

В ряде других стран для оценки эффективности работ по тушению лесных пожаров используют следующие показатели:

$T_r$  – отношение протяженности линии локализации к конечному периметру пожара;

Таблица 1.7 – Показатели эффективности мер по снижению природной пожарной опасности в США

Уровень	Показатель
Локальный	а) площадь, обработанная для снижения запасов растительных горючих материалов; б) площадь, обработанные для защиты районов, представляющих культурную ценность; в) площадь, на которой снижена природная пожарная опасность г) площадь, обработано в лучшем состоянии единицу выделенного финансирования; д) площадь, пройденная огнем высокой интенсивности; е) изменение площади, пройденной огнем высокой интенсивности, в сравнении с прошлым годом. ж) площадь, пройденная огнем низкой интенсивности; з) изменение площади, пройденной огнем низкой интенсивности, в сравнении с прошлым годом.
Региональный и федеральный уровни	а) площадь, обработанная для снижения запасов растительных горючих материалов б) площадь, обработанная для защиты качества воды; в) площадь, обработанная для защиты от инвазивных видов г) площади, переданные в аренду в целях заготовки древесины. д) площадь, на которой снижена природная пожарная опасность е) площадь, на которой снижена природная пожарная опасность, деленная на объем финансирования; ж) площадь, пройденная огнем высокой интенсивности; з) изменение площади, пройденной огнем высокой интенсивности, в сравнении с прошлым годом. и) площадь, пройденная огнем низкой интенсивности; к) изменение площади, пройденной огнем низкой интенсивности, в сравнении с прошлым годом.

НТг – отношение протяженности результативно использованной линии локализации к общей протяженности линии локализации.

В данном контексте линией локализации называется линия, на которой выполнялись работы по прямому тушению кромки, либо создавалась минерализованная полоса в рамках косвенного метода тушения. Результативной частью этой линии является та, которую огонь не перешел [192].

Одной из самых передовых концепций принятия управленческих решений в области охраны лесов от пожаров является POD (потенциальных оперативных разграничений), разработанная Лесной службой Министерства сельского хозяйства США [193], которая представляет собой адаптивную основу для

трансграничного и совместного планирования управлением земельными ресурсами и пожарами. Концепция POD стала развитием созданной ранее системы управления инцидентами, разрабатывающей операционную стратегию путем выявления проблем управления и мест, где управленческие действия могут быть более эффективными. Эта концепция создает основу для планирования, связи, координации, приоритизации, разработки стратегии реагирования на природные пожары и чрезвычайные ситуации, а также для смягчения последствий и восстановления лесов. Предусматривается переход к планированию и управлению огнем, основанный на оценке рисков и направленный на улучшение результатов управленческих решений.

Основа концепции POD – это лесопожарное зонирование, границы которого определяются признаками, подходящими для борьбы с огнем (например, вершинами хребтов и дорогами), и в пределах которого может быть обобщена информация об экологических условиях, пожарных рисках, возможностях управления и целевом назначении территорий. Такое лесопожарное зонирование обычно формируется на основе научных исследований путем объединения экспертных знаний руководителей тушения крупных лесных пожаров с картами вероятности возникновения лесных пожаров, построенными путем анализа многолетних ретроспективных данных о горимости лесов и иных сведений о территориях. Основными идеями реализации структуры планирования POD являются 1) выделение независимо от административных границ, зон, где лесные пожары могут потенциально не тушиться (аналог российских зон контроля) и 2) работа с широким кругом граждан, общественных организаций, землевладельцев, партнеров, кооператоров и заинтересованных сторон для создания общего понимания целей управления пожарами [194–196].

К настоящему времени POD стала основой для более широкой, адаптивной структуры стратегического планирования управления пожарами, которая является трансграничной, совместной и предназначенной для координации усилий

по охране территорий от природных пожаров. Созданное в рамках POD лесопожарное зонирование обеспечивает оперативный контекст для стратегического риск-ориентированного подхода к целям управления земельными ресурсами и управления инцидентами, основанного на совместной оценке рисков [197–199].

Одним из важнейших элементов рассматриваемой концепции является процедура оценки эффективности деятельности по борьбе с лесными пожарами и восстановлению лесов. Соответствующие категории стратегического реагирования позволяют применять тонкие подходы к измерению эффективности, основанные на согласовании решений, действий и результатов со стратегическими целями реагирования. POD позволяет также проводить корректировку целей управления путем отслеживания изменений рисков с течением времени.

В рамках развития концепции рассматривается возможность расширения вопросов управления от "как и почему изменились условия и риски" до "как и почему эти изменения влияют на наши цели стратегического управления". Переход от "защищать" к "восстанавливать" или от "восстанавливать" к "поддерживать", как правило, считается желательным и отражает ожидаемое улучшение экологического состояния и устойчивости к будущим пожарам [190, 200].

Категории стратегического реагирования и акценты управления могут также предлагать "временные компромиссы", например в дневное время, в зонах защиты стратегия управления рисками может представлять избегание краткосрочных потерь за счет переноса риска в будущее, тогда как при восстановлении и поддержании зон, дополнительная пройденная огнем площадь может быть полезна для снижения риска пожаров в будущем. Учет целей реагирования позволяет более корректно интерпретировать показатели эффективности работ по тушению лесных пожаров. В настоящее время концепция и связанные с ней

информационные системы активно развиваются по всем стадиям организации охраны лесов от пожаров и уровням управления.

Кроме обеспечения постановки и решения задач стратегического планирования, информационное обеспечение является неотъемлемой частью действий при непосредственном тушении лесных пожаров. Так как условия для возникновения и их распространения постоянно меняются, на практике ситуации с повышенной горимостью возникают в разных регионах в разное время, тогда как в других регионах (и в другое время) пожары могут полностью отсутствовать. Поэтому во всем мире принята стратегия расчета сил и средств на среднюю горимость, а при высокой горимости часть ресурсов перебрасывается из регионов с малой горимостью. С этой точки зрения очень важным элементом является как рациональное распределение ресурсов по территории (места базирования лесопожарных станций и авиационных отделений), так и выбор оптимальных маршрутов доставки к месту пожара. Учитывая, что большинство пожаров находятся в удалении от мест базирования лесопожарных формирований, важно на начальном этапе оценивать количество ресурсов, необходимых для тушения пожара, так как последующая переброска их (или части) с одного пожара на другой обычно затруднена.

В Российской Федерации тоже существует острая потребность в методиках расчета сил и средств пожаротушения, необходимых для ликвидации лесных пожаров. В частности, с 2021 года приказом федерального штаба по координации деятельности по тушению лесных пожаров утверждены Указания по осуществлению контроля за обеспечением оперативности тушения лесных пожаров в субъектах Российской Федерации. Данные Указания предусматривают ежедневный контроль наличия ресурсов. На данный момент используется очень упрощённая методика, которой целесообразно пользоваться только пока группы пожаротушения еще не добрались до пожара. К сожалению, несмотря на востребованность более точных методик оценки потребного количества сил

и средств, необходимые ресурсы для полномасштабных исследований в этом направлении пока не запланированы. Имеются проблемы и в части оценки результативности и эффективности принимаемых мер при планировании, организации охраны и тушении лесных пожаров.

#### **1.4 Приоритетные направления развития информационного обеспечения управленческих решений в сфере охраны лесов от пожаров**

Развитие информационного обеспечения следует рассматривать с точки зрения необходимости достижения целей и решения поставленных задач развития лесного хозяйства в целом, которые установлены Основами государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденными распоряжением Правительства Российской Федерации от 26.09.2013 № 1724-р [201]. В частности, в экологической сфере должна быть обеспечена благоприятная окружающая среда для граждан и сохранение биосферной роли лесов России. Предполагается, что это будет обеспечено за счет повышения эффективности охраны лесов от пожаров, защиты лесов от вредных организмов и других неблагоприятных факторов, лесовосстановления и сохранения экологического потенциала лесов.

Как известно, в сфере охраны лесов от пожаров эффективность можно рассматривать как способность мероприятий и мер, направленных на предотвращение, обнаружение, тушение и ликвидацию возгораний в лесах, достигнуть поставленных целей с наименьшими затратами ресурсов и минимальными негативными последствиями. В этом контексте основная цель информационного обеспечения видится в предоставлении лицам, принимающим управленческие решения, информации для анализа лесопожарной ситуации и выбора оптимальных вариантов тактических действий по ее смягчению на всех этапах работ, включая планирование, текущую деятельность и контроль.

На основании проведенного анализа, изложенного в настоящей главе диссертации, можно обобщить проблемные вопросы информационного обеспечения охраны лесов от пожаров в России и сформировать основные приоритеты его развития для целей поддержки соответствующих управленческих решений. Следует констатировать, что у нас создана оригинальная отечественная система информационного обеспечения данного направления лесохозяйственной деятельности, которая позволяет вполне успешно решать большинство вопросов в сфере охраны лесов от пожаров, но требует дальнейшего совершенствования и, прежде всего, в связи с цифровизацией лесной отрасли.

Несмотря на большую значимость, именно вопросы стратегического планирования охраны лесов от пожаров в настоящее время наименее развиты. Возможности адаптации существующей системы управления сдерживаются отсутствием методик анализа и прогнозирования ключевых параметров (как распространения отдельных пожаров, так и развития лесопожарной ситуации в целом).

С целью повышения эффективности охраны лесов от пожаров в Российской Федерации целесообразно внедрять подходы, схожие с концепцией "потенциальных активных ограничений" (POD), одной из наиболее прогрессивных в настоящее время в зарубежной лесопирологической практике. В частности, приоритетными задачами должны стать вопросы стратегического планирования на основе научно-обоснованных алгоритмов, в первую очередь в части оптимизации лесопожарного зонирования и распределения ресурсов пожаротушения. В части лесопожарного зонирования охраняемой территории лесного фонда необходимо изменение подходов дифференциации: от деления по используемым средствам на деление по уровням охраны. При этом большинство управленческих задач, связанных с оптимизацией, так или иначе должны быть увязаны с прогнозом развития лесопожарной ситуации. Это позволяет сделать вывод, что прогноз

является базой, вокруг которой должно выстраиваться информационное обеспечение.

Существенное значение для развития лесной отрасли имеет дополнение Федеральной государственной информационной системы лесного комплекса (ФГИС ЛК) информационными подсистемами, обеспечивающими осуществление учета и контроля мероприятий по противопожарному обустройству лесов, а также существующих и создаваемых объектов в этих целях; оценки пожарной опасности в лесах, включая возникновение природных пожаров от молниевых разрядов, лесопожарного зонирования и оценки лесопожарных рисков, мониторинга и контроля за введением и отменой на территориях противопожарных режимов, контроля сил и средств пожаротушения и информационной поддержки маневрирования ресурсами, мониторинга финансовых потоков, учета и оценки результативности и эффективности управленческих решений.

Кроме того, целесообразно учитывать лучшие зарубежные практики, особенно в части получения исходной информации, аналитической обработки данных, прогнозирования развития лесопожарной ситуации и планирования охраны лесов. Так, заслуживает внимания использование спутниковой информации для оценки точной границы осадков, создание полноценной системы регистрации молниевых разрядов и прогнозирования пожаров от гроз, разработка моделей динамики влагосодержания различных групп растительных горючих материалов, методов применения показателей пожарной опасности при принятии управленческих решений и оценки эффективности противопожарных мероприятий.

Необходимо отметить, что получение актуальных и достоверных оценок природной пожарной опасности лесов существенно сдерживается отсутствием единой повыведельной базы данных лесотаксационных описаний, включающей оценку запасов лесных горючих материалов. Данные государственной

инвентаризации лесов могут быть использованы для задач охраны лесов только для ограниченного числа задач из-за низкой детализации.

Не меньше вопросов к информационному обеспечению имеется в части оценок пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды. В частности, отсутствует, как это практикуется в ряде зарубежных стран, источник информации о количестве осадков непосредственно по территории лесов. Использование исключительно данных существующей сети стационарных метеостанций не всегда может обеспечить нужное пространственное разрешение метеоданных. Малая зона покрытия, и разрозненность системы регистрации молниевых разрядов, и отсутствие увязки этих данных с данными об осадках и о природной пожарной опасности территорий не позволяет организовать надежное детектирование пожаров, возникающих от молний. Несмотря на нормативно закреплённую возможность, до настоящего времени отсутствует порядок разработки, согласования (проверки) и утверждения региональных шкал пожарной опасности в лесах.

Значительная роль в решении указанных задач принадлежит созданию современного информационного обеспечения охраны лесов от пожаров. При этом нужно исходить из понимания, что текущие проблемы с информатизацией данной сферы лесохозяйственной деятельности связаны в основном не с недостатком аппаратного сопровождения и программных ресурсов, а в большей степени с отсутствием эффективных и корректных алгоритмов и методик обработки, анализа и представления лесопожарной информации. С этой точки зрения ключевым драйвером развития информатизации в данной сфере должны стать соответствующие прикладные научные исследования, направленные на разработку соответствующего методического и алгоритмического обеспечения [75].

Решению части указанных вопросов посвящена настоящая диссертационная работа.

## **ГЛАВА 2. НАУЧНАЯ ГИПОТЕЗА, МЕТОДОЛОГИЯ И ПРОГРАММА ИССЛЕДОВАНИЙ**

### **2.1 Обоснование научной гипотезы исследований, цели и задачи диссертационной работы**

Охрана лесов от пожаров относится к ключевой сфере деятельности лесного хозяйства, главной целью которой является сохранение лесов, сбережение лесных ресурсов и сокращение всех видов прямого и косвенного вреда, возникающего вследствие лесных пожаров. Согласно действующему лесному законодательству, в России для этого предусматривается реализация комплекса мер, в состав которых включаются предупреждение лесных пожаров (снижение рисков за счет противопожарного обустройства лесов и обеспечения средствами предупреждения и тушения лесных пожаров), мониторинг пожарной опасности в лесах и лесных пожаров (обеспечение готовности к действиям), планирование тушения лесных пожаров и их тушение (ответные меры), реабилитационные мероприятия (работы по воспроизводству лесов на площадях, пройденных пожарами и погибших от пожаров насаждений) [74].

В целом данная концепция практически совпадает со Стратегией ФАО по борьбе с пожарами [202], предусматривающей комплексный (целостный) подход, который должен включать в себя пять элементов: обзор и анализ ситуации, снижение рисков, готовность, ответные меры и восстановление. При этом следует учитывать, что современный общемировой тренд в вопросах борьбы с природными пожарами предусматривает смещение акцентов с мер по их тушению на меры по предотвращению и снижению негативных последствий [203], что требует переосмысления некоторых устоявшихся подходов в охране лесов, в том числе с учетом прогнозируемых климатических изменений. В такой перспективе особую актуальность приобретает предлагаемая к разработке адаптивно-ориентированная

стратегия лесоправления и ведения лесного хозяйства, составной частью которой должны стать меры по совершенствованию системы пожарной безопасности в лесах, ориентированной на снижение потерь площадей и продуктивности лесных насаждений по причине природных пожаров. Ожидаемая эскалация более напряженных пожарных режимов с повышенной частотой возгораний, увеличением рисков возникновения катастрофических пожаров и площадей, пройденных ими, потребует реализации срочного комплекса мер в первую очередь на территориях с наиболее сухими климатическими условиями [62, 63].

В целях смягчения последствий потребуется больше внимания уделять развитию единой федеральной системе охраны лесов от пожаров, противопожарному обустройству лесных территорий, особенно прилегающих к населенным пунктам, производственной инфраструктуре и объектам экономики; оценке и снижению природной пожарной опасности лесов, развитию системы мониторинга за пожарной опасностью в лесах и лесными пожарами с использованием наземного и авиационного патрулирования, космических средств с использованием отечественных спутников нового поколения; технологическому и техническому перевооружению наземных и авиационных служб мониторинга и тушения пожаров, достоверности учета лесных пожаров, совершенствованию межведомственной и межрегиональной координации, механизмов финансирования и эффективности использования выделяемых средств на охрану лесов от пожаров.

Обширный перечень решаемых задач потребует более качественных управленческих действий, опирающихся на достоверную исходную информацию о лесопожарной обстановке в стране и отдельных регионах, корректную нормативную правовую базу, регламентирующую весь спектр необходимых мер по обеспечению пожарной безопасности в лесах. В этой связи особую значимость приобретает информационно-аналитическое обеспечение научной основы совершенствования всей системы охраны лесов от пожаров. При этом многолетний отечественный опыт организации и осуществления мероприятий охраны лесов

от пожаров, нормы действующего лесного законодательства, а также предписания и оценки соответствующих контролирующих органов по его соблюдению, свидетельствуют о необходимости корректировки созданных ранее и разработки новых методов и нормативов, направленных на совершенствование информационной базы, которая позволит повысить в соответствии с современными требованиями качество управления в сфере лесопожарной безопасности.

На основе детального анализа организационной и информационной системы охраны лесов от пожаров, а также лучших зарубежных технологий, можно сделать выводы, что огромное значение для эффективности ее функционирования имеет лесопожарное зонирование, оптимальные нормативы обеспеченности лесопожарными формированиями и адекватное маневрирование ресурсами пожаротушения. Все это невозможно без прогнозов развития лесопожарной ситуации и адекватной оценки эффективности принимаемых мер.

Следует учитывать, что современный этап развития лесного хозяйства характеризуется активным внедрением информационных технологий, которые не просто упрощают процессы управления, но и создают предпосылки к их радикальной модернизации. Фактически началась так называемая цифровая трансформация отрасли. Активное внедрение технологий дистанционного зондирования Земли, автоматизированных систем мониторинга, беспилотных воздушных систем и т.п., формируют большие массивы информации, что открывает новые возможности статистическим методам ее обработки, включая современные нейросетевые технологии. Постепенно расширяется объем цифровых сведений о лесах, но ожидаемый переход количественных изменений в качественные сдерживается отсутствием целевых алгоритмов обработки данных, позволяющих осуществлять корректировку созданных ранее и разработку новых методов и нормативов для повышения эффективности принимаемых управленческих решений.

Таким образом, базовой научной гипотезой исследования является то, что использование современных методов обработки информации, в том числе

статистических алгоритмов, методов машинного обучения и т.д., обеспечит разработку комплекса алгоритмов аналитической обработки лесопожарной информации, позволяющего существенно повысить качество управленческих решений в области охраны лесов от пожаров.

С учетом изложенного целью исследования является разработка методов аналитической обработки лесопожарной информации, включающих прогнозирование основных параметров пожароопасного сезона, краткосрочного прогноза частоты возникновения лесных пожаров и оценку эффективности системы охраны лесов от пожаров.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

- исследовать мировой опыт работы в области интеллектуальной обработки информации и систем информационной поддержки управленческих решений;
- провести системный анализ проблемы информационного обеспечения охраны лесов от пожаров;
- установить закономерности горимости лесов и разработать алгоритмы ее оценки;
- провести анализ действующей системы оценки пожарной опасности в лесах и обосновать подходы к совершенствованию методики оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды;
- исследовать особенности пожароопасного сезона в лесах и разработать алгоритмы оценки его основных параметров;
- обосновать алгоритм краткосрочного прогноза частоты возникновения лесных пожаров;
- изучить состояние системы охраны лесов от пожаров и разработать методику оценки эффективности охраны лесов от пожаров в регионах Российской Федерации.

## 2.2 Методология исследований

Объектом исследований по теме диссертационной работы являются отдельные компоненты системы охраны лесов от пожаров Российской Федерации и субъектов Российской Федерации, связанные с вопросами оценки горимости территорий и лесопожарной ситуации, степени пожарной опасности в лесах, рисками возникновения лесных пожаров и их развития, лесопожарного зонирования и эффективности мер по тушению пожаров.

В основу диссертационных исследований положена методология системного анализа с элементами эмпирического подхода к решению проблем.

Для достижения цели и задач исследований в работе использован ряд специальных методов:

- абстрактно-логические – создание абстрактных моделей, для которых характерны наиболее существенные признаки изучаемого явления или объекта (а не все факторы, определяющие поведение объекта или явления в конкретной ситуации);

- системный анализ и синтез (обобщение данных, выявление общих закономерностей и выработка на основе этого рекомендаций);

- статистические методы (корреляционный анализ, регрессионный анализ, и другие методы);

- математическое моделирование (создание и изучение одномерных и многомерных совокупностей);

- вычислительный эксперимент (эксперимент, проводимый над математической моделью с помощью вычислительных и логических процедур).

В целях системного анализа состояния вопроса предусматривалось изучение существующей организационной структуры системы охраны лесов, уровень ее информационного обеспечения и выявление наиболее проблемных направлений

и "слабых мест", что позволило сформировать концептуальные подходы, цель и задачи исследований.

При анализе предметной области и информационных потоков использовалась методология функционального моделирования. Данная методология рекомендована российским национальным стандартом Р 50.1.028-2001 [204] для использования при анализе и синтезе производственно-технических и организационно-экономических систем методами функционального моделирования в различных отраслях экономики. Кроме того, учитывались положения методологии IDEF (методологии семейства ICAM - Integrated Computer-Aided Manufacturing), предназначенной для решения задач моделирования сложных систем, особенности и приемы применения которой основаны на подходе, получившем название SADT (Structured Analysis & Design Technique – метод структурного анализа и проектирования).

Основной концептуальный принцип методологии IDEF – представление любой изучаемой системы в виде набора взаимодействующих и взаимосвязанных блоков, отображающих процессы, операции, действия (определения – см. ниже), происходящие в изучаемой системе. В IDEF0 все, что происходит в системе и ее элементах, принято называть функциями. Каждой функции ставится в соответствие блок. На IDEF0-диаграмме, основном документе при анализе и проектировании систем, блок представляет собой прямоугольник. Интерфейсы, посредством которых блок взаимодействует с другими блоками или с внешней по отношению к моделируемой системе средой, представляются стрелками, входящими в блок или выходящими из него. Входящие стрелки показывают, какие условия должны быть одновременно выполнены, чтобы функция, описываемая блоком, осуществилась (приложение А).

Для изучения мирового опыта в области интеллектуальной обработки лесопожарной информации и систем информационной поддержки управленческих

решений проводилось изучение доступных научных отечественных и зарубежных источников.

Задачи, связанные с изучением горимости лесов, оценкой пожарной опасности в лесах, исследованием параметров пожароопасного сезона, вопросами учета и прогнозирования лесных пожаров, оценки эффективности охраны лесов от пожаров и оптимизации лесопожарного зонирования, решались комплексом различных методов, которые требуют индивидуального подхода. В связи с этим было принято решение о включении детализированного описания этих методов в соответствующие главы диссертационной работы.

Исходными данными для исследований служили научные публикации, методики, нормативно-правовые акты в области лесного законодательства Российской Федерации, ведомственная отчетность, предоставляемая органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации Рослесхозу и обрабатываемая ФГБУ "Рослесинфорг" и ФБУ "Авиалесоохрана" (формы ОИП, ГЛР и т.д.) статистическая отчетность, размещаемая в открытых источниках, данные экспериментальных исследований.

Важным источником структурированных данных (дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ), 2005-2024 годы и метеоинформации 2007-2024 годы, картография 2010-2024 годы) являлась Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз); вспомогательным источником информации – данные системы "ВЕГА-Лес" (2000-2024 годы).

Географически привязанные данные проходили предварительную обработку (проверка полноты и топологии) на платформе QGIS. Все собранные данные аккумулировались в системе управления базами данных (СУБД) PostgreSQL, дополненной модулем для работы с геоданными "PostGIS".

Исследование структуры данных, а также их статистический анализ, проводились с использованием лицензионной программы Statistica (модули

Advanced и Automated Neural Networks). Для формирования и тестирования математического аппарата использовалась программа Mathcad. Для предварительной обработки данных и преобразования их в нужный формат внутри СУБД были написаны специальные скрипты на процедурном языке PL/pgSQL. Процесс предварительной обработки данных включал в себя: анализ доступных источников, оценка достоверности, выбор источников данных, оценку полноты, обработка пропусков, анализ формы распределение, выявление и обработка аномальных выбросов.

Важную роль в исследовании играли вычислительные эксперименты, основной платформой для которых стала Jupyter Notebook/Lab (на основе Python).

Для прогнозирования временных рядов пожароопасного сезона базовыми являлись следующие методы машинного обучения: NaiveForecaster, AutoETS, AutoARIMA, BATS, а также элементы искусственного интеллекта на основе нейронных сетей MLP. Для краткосрочного прогнозирования частоты возникновения лесных пожаров использовалась математическая модель на основе полинома  $n$ -степени в трехмерном пространстве.

Интерактивная визуализация данных (для удобства анализа и интерпретации) осуществлялась с использованием сервиса Yandex DataLens (на платформе Yandex Cloud).

В ходе исследований сформированы десятки экспериментальных выборок и 6 баз данных общим объемом порядка терабайта, проведены сотни вычислительных экспериментов и 16 практических апробаций (опытно-производственных проверок) отдельных элементов разработок, создано 11 компьютерных программных продуктов и 3 нейросетевых модели, 44 интерактивных панели (дашбордов) для визуализации результатов расчета, проработано более пятидесяти законодательных и нормативных правовых актов лесного и смежного законодательств, примерно 250 отечественных и зарубежных источников научной литературы, более десятка форм статистической отчетности в области охраны лесов от пожаров.

## **ГЛАВА 3. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНКИ ГОРИМОСТИ ЛЕСОВ**

### **3.1 Исследование формы распределения значений частоты и площади возникновения пожаров**

Как известно, на риски возникновения пожаров влияет большое количество сложно контролируемых факторов (погода, антропогенный фактор, лесорастительные особенности территорий и другие факторы). То есть данные выглядят как случайные величины, для описания которых существует целый ряд метрик. Наиболее важной из них является статистическая форма распределения значений или закон распределения случайной величины. Известно, что существует несколько стандартных законов распределения случайных величин, математические свойства которых хорошо изучены. Знание закона распределения играет важную роль для аналитической обработки информации, но поскольку в реальной жизни процессы всегда отличаются от стандартных, то в ряде случаев для расчетов целесообразно заменить реальное распределение на близкое к нему стандартное [205, 206].

Попытки оценить форму распределения количества возникающих лесных пожаров, а также площадей, пройденных огнем, предпринимались и ранее [36, 113, 130, 131, 207], но обычно не приводили к получению достоверного результата в первую очередь из-за ограниченного объема данных. Обладая большими объемами данных, нами принято решение изучить данный вопрос более детально с целью получения более корректных результатов. Для этого в исследовании были использованы хорошо структурированные и однородные данные дистанционного зондирования Земли [208, 209], обработка которых проводилась одними и теми же алгоритмами в течение всего периода анализируемых данных [210]. В целях

анализа площадей, пройденных огнём, использовалась сформированная база данных информационной системы "ВЕГА-Лес" [211]. Она формировалась на основе данных, полученных с помощью прибора MODIS (шестая коллекция — МС6), установленного на спутниках Terra и Aqua [212]. Полученный набор данных был также объединён с базой данных ИСДМ-Рослесхоз для получения атрибутов, связанных с лесопожарной зоной [213], в которой действовал указанный пожар. Из всех зарегистрированных загораний были исключены случаи, которые не попадали на земли лесного фонда. Кроме того, в расчете были использованы данные только по покрытой лесом площади, а также исключены малые площади, с большой долей вероятности связанные с техническими ограничениями съёмочной аппаратуры и алгоритмов обработки [210].

Полученные в ходе исследования результаты показывают (рисунок 3.1), что форма распределения значений площадей лесных пожаров на больших выборках не является хаотичной и близка к логнормальной (на рисунке показана красной линией) [210, 214].

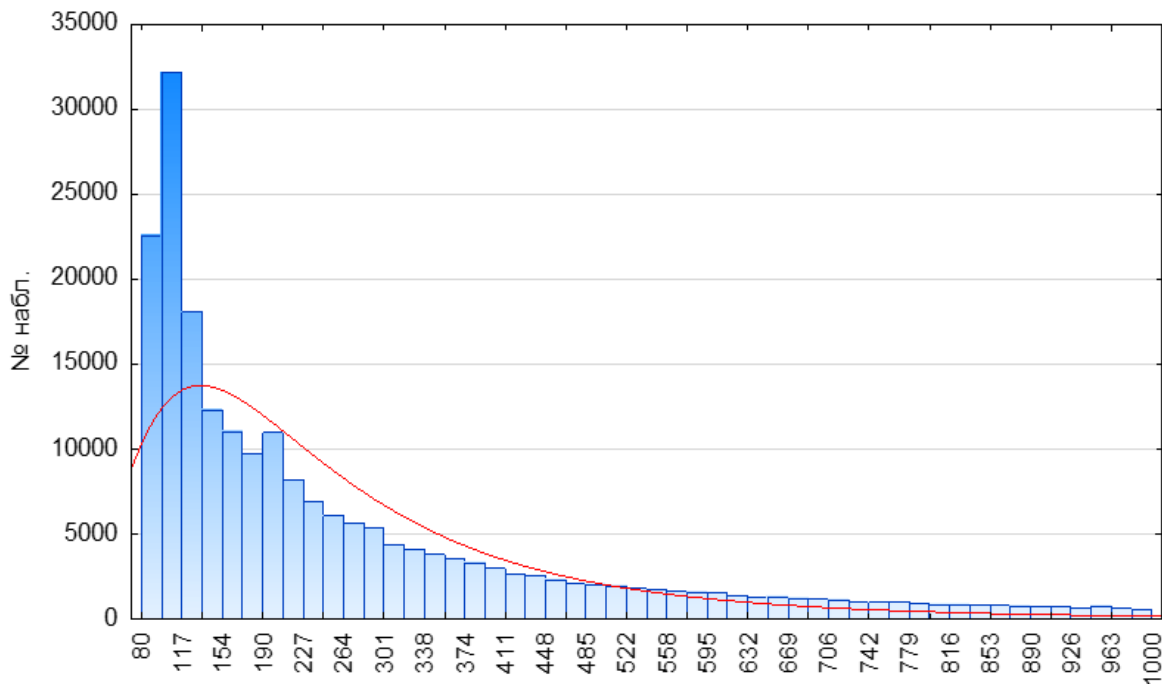


Рисунок 3.1 – Статистическая форма распределения значений площадей, пройденных огнем, полученная в ходе исследования

Для подтверждения данного факта численными методами была проведена серия вычислительных экспериментов по подбору параметров для наиболее часто используемых параметрических форм распределения (логнормальное, смешанное гауссовское, обобщенное Парето, распределение Вейбулла, нормальное, Джонсона SL, полунормальное, распределение Релея). В качестве критерия близости полученных результатов к фактической форме распределения использовалась статистика Колмогорова-Смирнова (таблица 3.1). Как видно из таблицы, наиболее близкое приближение присуще логнормальному статистическому распределению.

Таблица 3.1 – Результаты идентификации закона распределения случайных величин для площади лесов, пройденной лесными пожарами

Форма распределения	Статистика Колмогорова-Смирнова	Форма распределения	Статистика Колмогорова-Смирнова
Логнормальное	<b>0,118</b>	Нормальное	0,482
Смешанное гауссовское	0,206	Джонсона SL	0,788
Обобщённое Парето	0,211	Полунормальное	0,847
Вейбулла	0,240	Релея	0,931

Аналогичные результаты получены для частоты лесных пожаров (см. раздел 3.2) и индексов пожарной опасности (см. раздел 4.1).

Известно, что главное свойство логнормального распределения состоит в том, что если преобразовать (путем логарифмирования) значения, распределенные по такому закону, то получится нормальное распределение (рисунок 3.2).

Учитывая выявленные особенности формы распределения основных лесопожарных показателей (частоты возникновения лесных пожаров, площади, пройденной огнем, и индексов пожарной опасности), появляется возможность перейти к преобразованным значениям и, соответственно, использовать для исключения случайных выбросов правило трех сигм, а для сравнения преобразованных величин – корреляцию Пирсона. Это дает целый ряд преимуществ и существенное повышение точности лесопожарной аналитики.

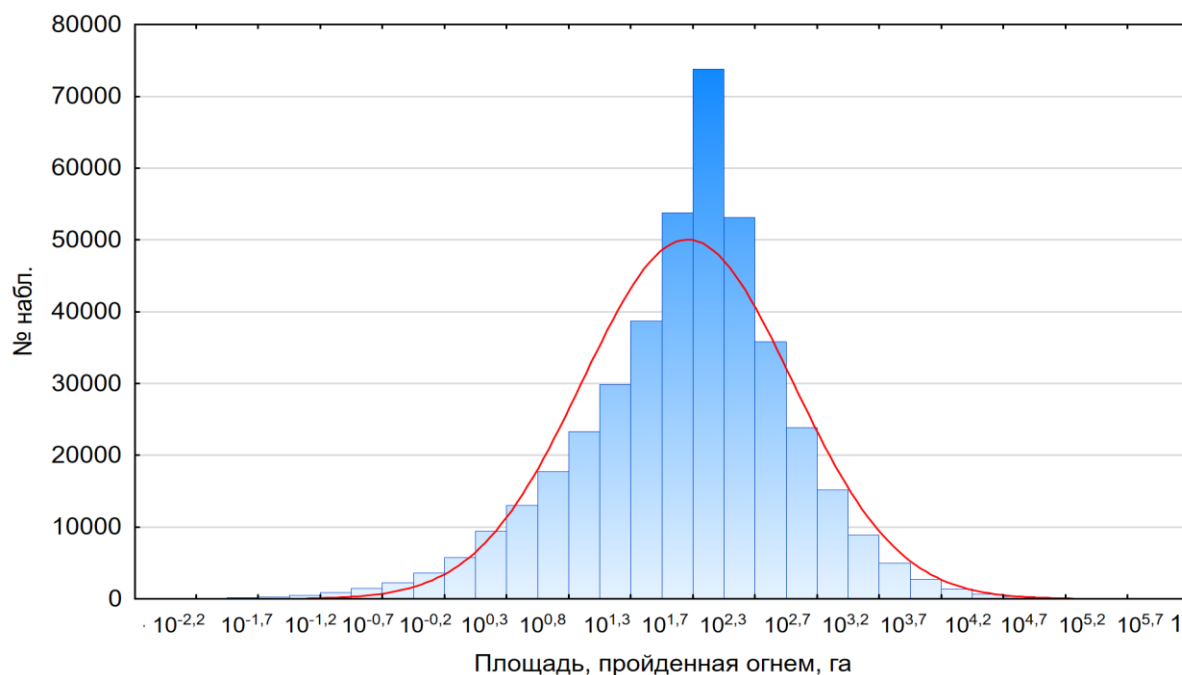


Рисунок 3.2 – Статистическая форма распределения преобразованных значений площадей, пройденных огнем

### 3.2 Статистические методы выявления искажений данных о количестве лесных пожаров

Бурное развитие цифровых технологий в целом и методов обработки больших данных в частности открывает широкие возможности для разработки новых алгоритмов информационной поддержки управленческих решений, в том числе в области охраны лесов от пожаров [215]. На этом фоне существенно возрастают требования к точности данных о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах. Технологии дистанционного зондирования Земли из космоса, хоть и являются перспективным методом получения независимой от человеческого фактора информации, всё же имеют пока ряд технических ограничений, не позволяющих полностью автоматизировать сбор всей информации [53, 216–218].

Достоверность сведений о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах, поступающих от региональных лесопожарных служб, является важным показателем оценки деятельности субъектов Российской Федерации в сфере охраны лесов при проведении федерального контроля переданных полномочий.

В частности, как уже отмечалось, оперативный контроль осуществляется путем автоматического сравнения региональных данных с данными ИСДМ-Рослесхоз [81, 87], полученными методом детектирования тепловых аномалий. В случае если расхождения не устранены, проводится детальная проверка крупных лесных пожаров по данным снимков высокого пространственного разрешения. В отдельных спорных случаях может назначаться выездная проверка для натурного замера площади пожаров с использованием приборов спутниковой навигации в процессе облета на воздушном судне или пешего обхода контура пожара.

Как свидетельствуют научные данные, большие объемы информации из разных источников, накопленные в лесопожарных базах данных, позволяют, в том числе с применением закона больших чисел, проводить статистическую оценку точности сведений [219], включая данные, полученные из космических источников, что значительно сокращает временные и финансовые затраты на выполнение проверочных мероприятий. Нами в рамках диссертационного исследования, с использованием описанных в предыдущем разделе закономерностей частоты возникновения лесных пожаров, проверялась возможность использования статистических методов оценки возможного завышения количества лесных пожаров (случаев дробления пожаров с целью снижения средней площади и улучшения отчетности), а также завышения количества пожаров, ликвидированных в первые сутки, как одного из важнейших показателей эффективности работы лесопожарных служб. На наш взгляд, полученные результаты могут быть использованы в качестве дополнительного метода для анализа достоверности соответствующих сведений, поступающих от региональных диспетчерских служб.

Для исследований был выбран массив данных о количестве возникших лесных пожаров и о количестве лесных пожаров, ликвидированных в первые сутки в разрезе регионов. Для удобства географической интерпретации полученных результатов данные были преобразованы с учётом реформы административного деления к существующим границам субъектов Российской Федерации.

При выборе уровня агрегирования данных (по региону, по времени года, по месяцу или по отдельному дню) учитывалось, что большая детализация данных (например, по каждому дню), приводит к погрешностям, связанным с действительно случайными процессами. Низкая детализация, наоборот, усредняет все "случайные шумы" в данных, но существенно сокращает объём доступной для исследований выборки. С этой точки зрения за оптимальный уровень детализации приняты сводные данные в разрезе сезонов года. Сформированная таким образом исследовательская выборка (год, сезон: 1 – весна, 2 – лето, 3 – осень, субъект Российской Федерации, количество лесных пожаров, количество лесных пожаров, ликвидированных в первые сутки) составила 4969 наблюдений.

Приведение формы распределения (для всей выборки лесных пожаров за все годы по всем регионам) выполнялось с использованием программы Statistica. Оценка близости формы к типовым параметрическим распределениям проведена с использованием типовых численных критериев [220].

Несмотря на то, что теоретически в большой выборке количество пожаров должно соответствовать стандартному параметрическому распределению, в реальных данных отклонения неизбежны. Вместе с тем общеизвестно, что отклонения, связанные с большим количеством случайных факторов, обычно также случайны (разнонаправлены). Вместе с тем, ряд отклонений, связанных с намеренными корректировками, могут быть выявлены экспертами по определенным признакам. Так, в случае небольшого количества лесных пожаров горимость обычно низкая и ресурсов для тушения хватает. В таких условиях отсутствует смысл в дроблении лесных пожаров для улучшения отчётности. Если же ситуация напряжённая и из-за нехватки ресурсов площади пожаров существенно увеличиваются, появляется соблазн площадь одного крупного пожара зарегистрировать в качестве нескольких отдельных пожаров, что существенно снизит контролируемый показатель средней площади лесного пожара. Соответственно, такие явления увеличат число ситуаций (наблюдений) с большим количеством лесных пожаров (смещение в правую часть гистограммы, см. рисунок 3.3), что также будет частично заметно и на второй гистограмме, характеризующей количество ликвидированных в первые сутки (рисунок 3.4).

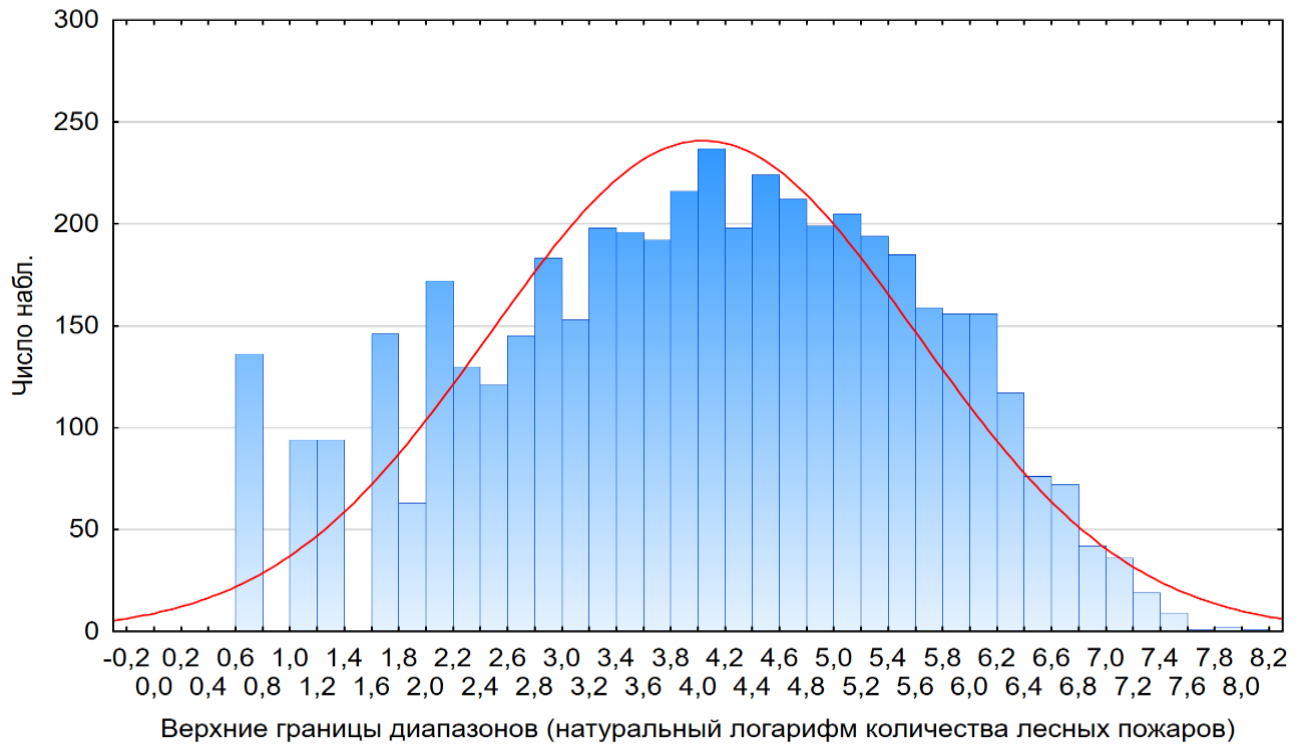


Рисунок 3.3 – Гистограмма распределения логарифма значения годового количества лесных пожаров за весь анализируемый период

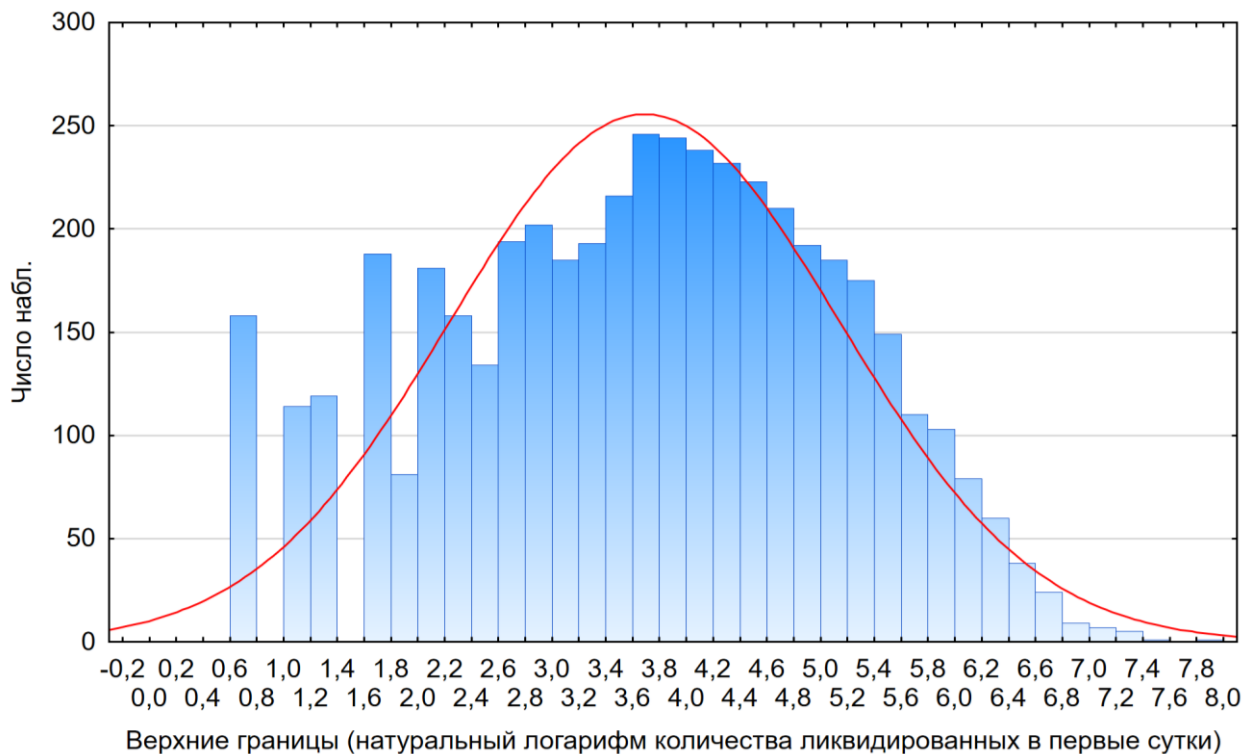


Рисунок 3.4 – Гистограмма распределения логарифма значения количества лесных пожаров, потушенных в первые сутки за весь анализируемый период

По нашему мнению, показатель "ликвидированных в первые сутки" имеет смысл корректировать только при малой горимости, когда общее количество пожаров невелико. В случаях же сложной лесопожарной обстановки количество лесных пожаров значительно возрастает и ресурсов на их тушение чаще всего не хватает. В таких случаях "закрывать" пожары раньше времени не имеет смысла, так как показатель уже низкий и искусственные корректировки существенно статистику не изменят. Даже зарегистрированные "при дроблении" новые пожары тоже не оказывают существенного влияния, так как количество их невелико. Таким образом, озвученные приписки будут влиять, в основном, только на крайний левый край гистограммы распределения количества пожаров.

Для наглядности и упрощения математического аппарата в соответствии с доказанной выше закономерностью о логнормальном законе распределения, данные о пожарах преобразовывались путём их логарифмирования. Полученные преобразованные значения распределялись на 51 равный интервал (шаг интервала принципиально на результат не влияет, но для визуализации такое значение является оптимальным). Верхняя граница интервала отображалась по горизонтальной оси, по вертикальной оси – число наблюдений (т.е. случаев, когда в отчётности указаны значения количества лесных пожаров, соответствующие интервалу по горизонтальной оси). Наличие анализируемых отклонений от базового (логнормального) распределения оценивалось через отклонение преобразованного значения от нормального. Наиболее подходящим критерием с максимальной статистической мощностью является улучшенный (адаптированный к большим выборкам до 2000 наблюдений) критерий Шапиро-Уилка  $W$ , который и выбран для данной оценки.

Для того чтобы сравнить регионы с точки зрения достоверности сведений о лесных пожарах (для построения антирейтинга), были рассчитаны значения оценочных критериев Шапиро-Уилка  $W$  (таблица 3.3) отдельно для распределения

количества лесных пожаров и для распределения количества пожаров, ликвидированных в первые сутки, а также уровни статистической значимости для каждого критерия.

В дальнейшем субъекты Российской Федерации были отсортированы (и последовательно пронумерованы) по возрастанию значения  $W$ , рассчитанного для общего количества лесных пожаров, то есть по мере возрастания близости к нормальному распределению и, следовательно, по мере повышения достоверности сведений. Соответствующий номер внесен в графу 4 Таблица 3.2.

При этом регионы, для которых коэффициент значимости  $p < 0,05$  или для которых слишком мало число наблюдений (менее 30) были исключены из дальнейшего анализа и не учитывались в рейтинге. Аналогичным образом, оставляя только статистически значимые случаи, сортировка проведена по возрастанию критерия  $W$  для выборки по доле пожаров, ликвидированных в первые сутки (порядковый номер по возрастанию внесен в графу 8).

Для тех регионов, по которым значимыми являются отклонения по обоим показателям, рассчитывался средний "антирейтинг" для каждого субъекта. Для остальных – значения рейтинга переносились в графу итоговый "антирейтинг" (графу 9). Субъекты отсортировывались по возрастанию итогового "антирейтинга" (по графе 9). Полученный таким образом перечень будет показывать регионы, в которых достоверность сведений вызывает большие сомнения.

Для примера приведена гистограмма доли лесных пожаров, ликвидированных в первые сутки (рисунок 3.5). Красной линией указаны расчётные значения теоретического нормального распределения, соответствующее указанной выборке.

Таблица 3.2 – Расчёт антирейтинга достоверности сведений об общем количестве лесных пожаров, а также о количестве ликвидированных в первые сутки

Субъект Российской Федерации	Количество лесных пожаров				Ликвидированных в первые сутки				Итоговый антирейтинг	
	N	W	p-value	Анти рейтинг	N	W	p-value	Анти- рейтинг	После суммирования	Перенумерованы
A	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Красноярский край	108	0,786	0,000	1	108	0,917	0,000	3	2	1
Хабаровский край	124	0,861	0,000	3	122	0,916	0,000	2	2,5	2
Свердловская область	109	0,905	0,000	5	107	0,913	0,000	1	3	3
Чукотский автономный округ	42	0,951	0,073		35	0,918	0,013	4	4	4
Иркутская область	107	0,830	0,000	2	106	0,931	0,000	7	4,5	5
Тюменская область	108	0,890	0,000	4	106	0,927	0,000	6	5	6
Ханты-Мансийский автономный округ - Югра	30	0,955	0,233	-	30	0,924	0,034	5	5	7
Амурская область	107	0,914	0,000	6	105	0,947	0,000	10	8	8
Республика Хакасия	62	0,972	0,172		60	0,943	0,007	9	9	9
Республика Карелия	104	0,949	0,001	11	103	0,940	0,000	8	9,5	10
Приморский край	132	0,942	0,000	8	126	0,966	0,003	14	11	11
Томская область	106	0,991	0,680	-	106	0,957	0,002	11	11	12
Республика Бурятия	107	0,926	0,000	7	106	0,969	0,013	17	12	13
Еврейская автономная область	81	0,956	0,007	12	78	0,963	0,023	13	12,5	14
Псковская область	70	0,956	0,015	13	70	0,958	0,018	12	12,5	15
Забайкальский край	105	0,947	0,000	10	103	0,968	0,013	16	13	16
Республика Коми	107	0,966	0,008	14	106	0,984	0,231		14	17
Республика Тыва	107	0,945	0,000	9	103	0,972	0,027	21	15	18
Новосибирская область	105	0,970	0,018	16	104	0,981	0,142		16	19

Субъект Российской Федерации	Количество лесных пожаров				Ликвидированных в первые сутки				Итоговый антирейтинг	
	N	W	p-value	Антирейтинг	N	W	p-value	Антирейтинг	После суммирования	Перенумерованы
Магаданская область	106	0,972	0,026	17	106	0,967	0,010	15	16	20
Кемеровская область - Кузбасс	94	0,969	0,024	15	90	0,969	0,030	18	16,5	21
Республика Башкортостан	99	0,978	0,097	-	97	0,971	0,028	19	19	22
Камчатский край	93	0,985	0,382	-	88	0,971	0,045	20	20	23
Кировская область	101	0,984	0,268	-	101	0,974	0,040	22	22	24
Челябинская область	101	0,975	0,051	-	101	0,974	0,042	23	23	25

Примечание: N – объем выборки, W – статистика Шапиро-Уилка, p-value – статистический показатель, характеризующий вероятность получить такие же (или более крайние) данные при условии, что нулевая гипотеза верна.

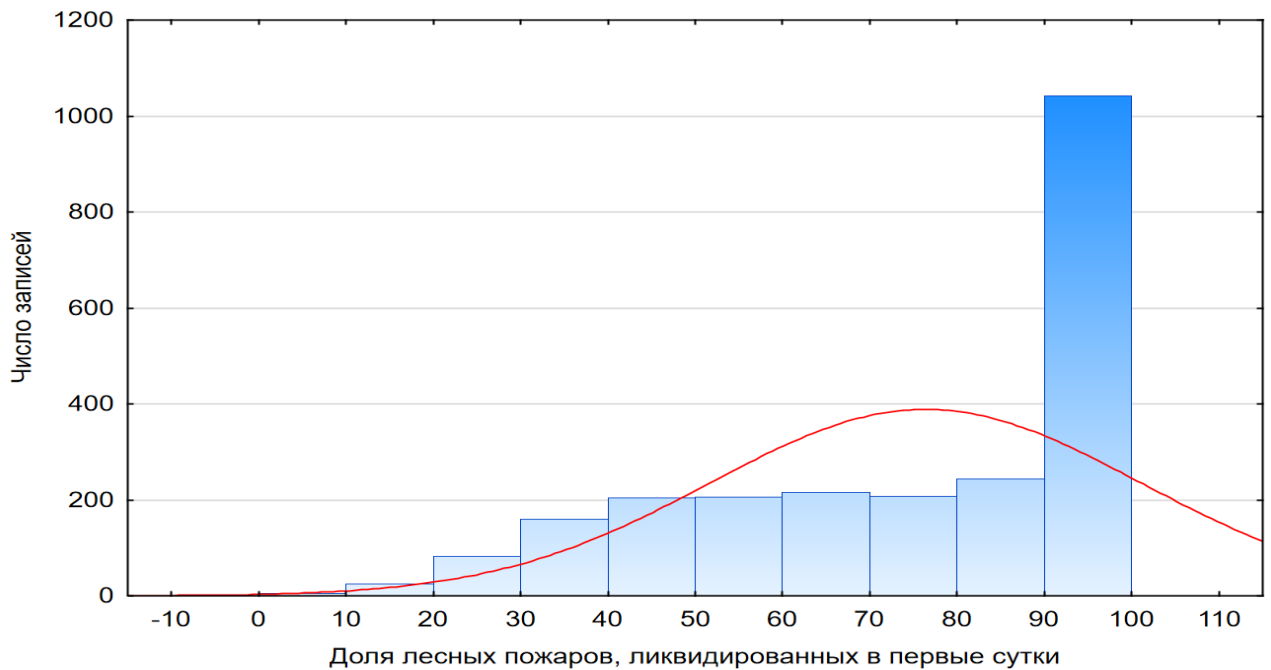


Рисунок 3.5 – Распределение доли лесных пожаров, ликвидированных в первые сутки

Как видно из графиков, форма распределения преобразованных значений близка к нормальной. При этом в выборке имеются отклонения, которые являются статистически значимыми. Это подтверждается как критерием Колмогорова-Смирнова (тем, что он больше критических значений), так и критерием Шапиро-Уилка (тем, что он меньше критического) (таблица 3.3).

Анализ полученных гистограмм показывает, что отклонения от теоретически рассчитанного значения в правой части распределения на обеих гистограммах подтверждают случаи дробления лесных пожаров. А существенно сдвинутый левый край распределения "ликвидированных в первые сутки", подтверждают случаи приписок количества лесных пожаров, потушенных в первые сутки. Для дополнительного подтверждения можно привести итоговую гистограмму доли лесных пожаров, ликвидированных в первые сутки, на которой аномальная часть соотношения двух выборок выглядит более наглядно (рисунок 3.5). Т.е. количество случаев, когда в отчетности фигурируют отличные показатели (когда все ликвидировано исключительно в первые сутки) значительно больше, чем это ожидается исходя из предположения о нормальности распределения случайных значений.

Таблица 3.3 – Критерии близости фактического распределения преобразованного показателя к теоретическому нормальному, показывают, что отклонения (по которым определяются искажения отчетности) статистически значимы

Название критерия	Значение критерия	Критическое значение (для большой выборки)	Коэффициент значимости, $p$
Логарифм общего годового количества лесных пожаров			
Колмогорова-Смирнова	0,04780	0,01929	$p < 0,01$
Шапиро-Уилка	0,96735	0,99	$p \approx 0$
Логарифм годового количества лесных пожаров, ликвидированных в первые сутки			
Колмогорова-Смирнова	0,05224	0,01929	$p < 0,01$
Шапиро-Уилка	0,97212	0,99	$p \approx 0$

Для визуализации результата приведём в качестве примера гистограмму распределения значений логарифма частоты возникновения лесных пожаров (рисунок 3.6), для Республики Алтай.

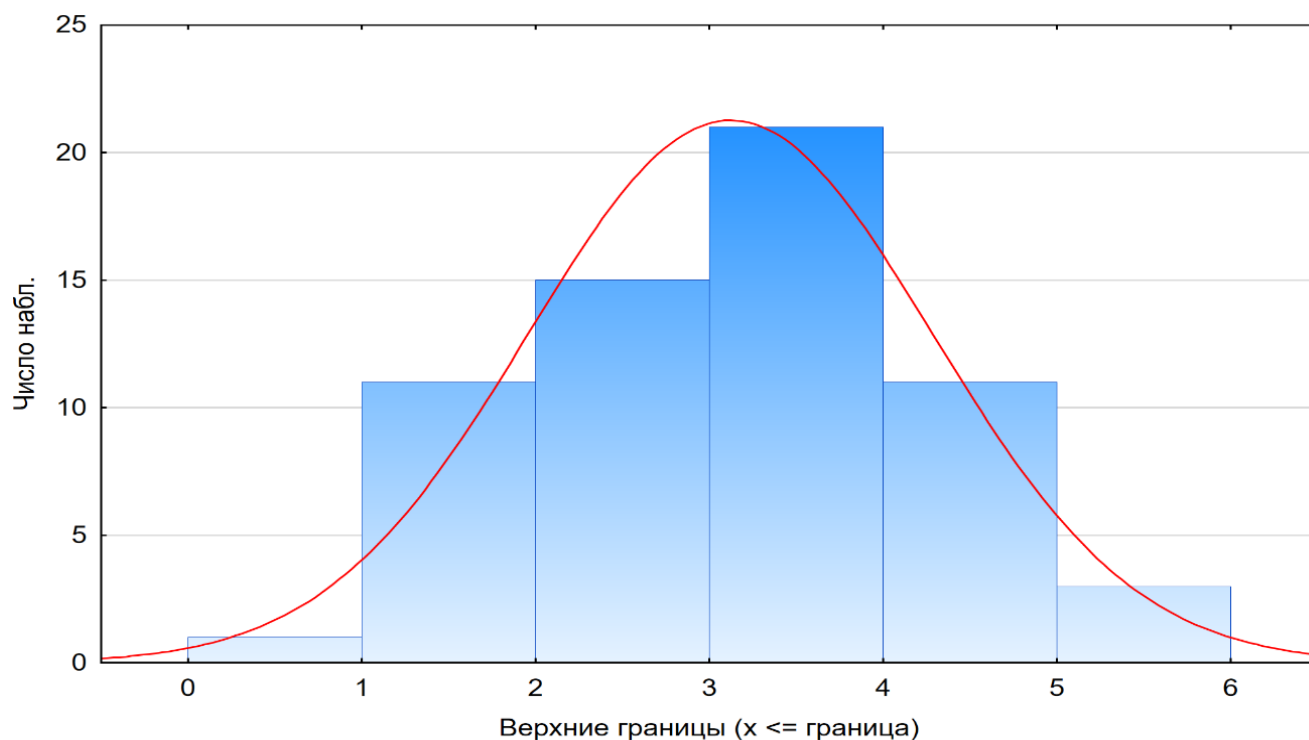


Рисунок 3.6 – Гистограмма распределения логарифма количества лесных пожаров по Республике Алтай. Статистически значимых отклонений не выявлено. Данные можно считать достоверными.

Как видно на гистограмме, распределение значений количества случаев (по вертикальной оси), когда частота возникновения лесных пожаров (случаев на млн га) лежит в соответствующем диапазоне (по горизонтальной оси: от 0 до 1 случая на млн га, от 1.1 до 2 случаев на млн га, и т.д.), распределено по закону, близкому к логнормальному (обозначенному на графике красной линией).

Далее приведен прямо противоположный пример, показывающий гистограмму распределения значений логарифма частоты возникновения лесных пожаров для Хабаровского края (рисунок 3.7). Как видно из рисунка, наблюдается значительное отклонение от теоретического нормального распределения.

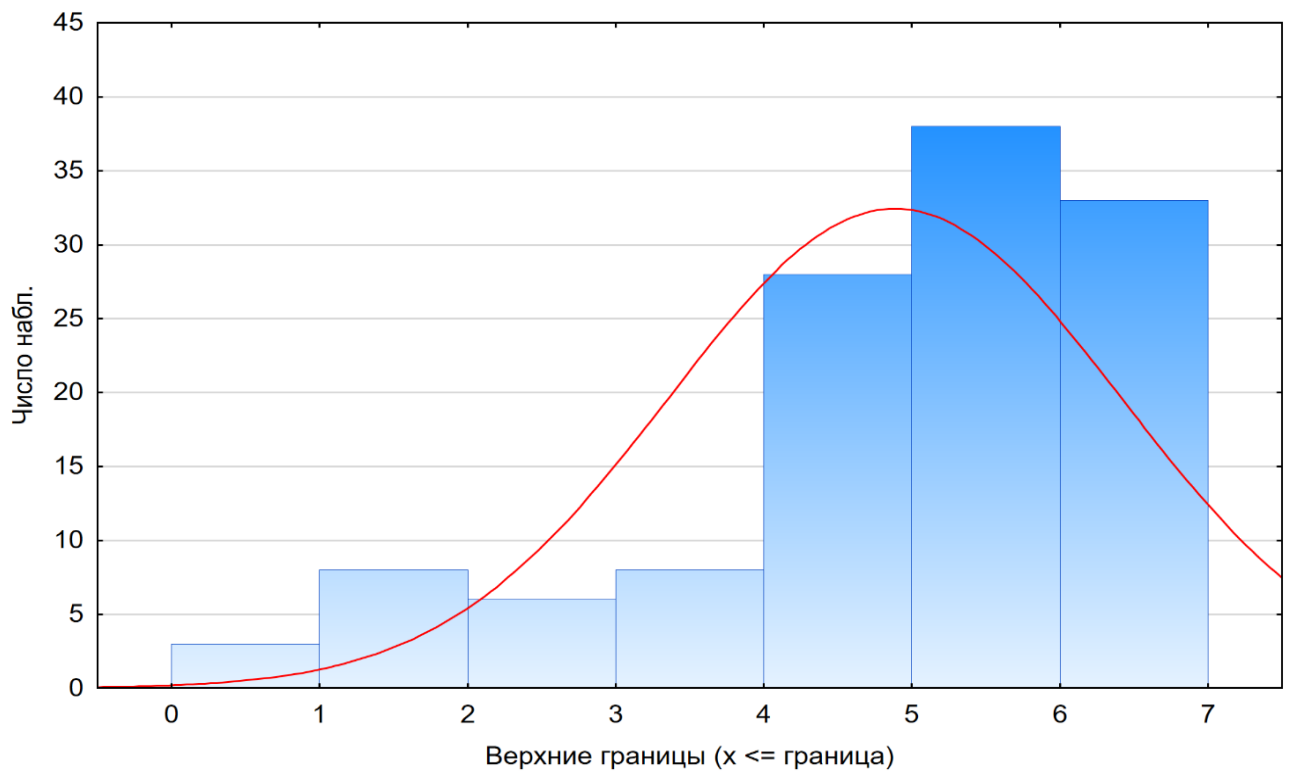


Рисунок 3.7 – Гистограмма распределения логарифма количества лесных пожаров по Хабаровскому краю. Выявлены статистически значимые отклонения от теоретической формы распределения

Напомним, что горизонтальная ось представлена в логарифмической шкале в связи с тем, что исходные значения частоты лесных пожаров, как было показано выше, распределяются по логнормальному закону распределения. В связи с этим для наглядности визуализации вместо сравнения исходных значений

с логнормальным распределением, сравниваются преобразованные (натуральным логарифмом) значения с теоретическим нормальным распределением. Это вытекает из свойства логнормального распределения [206].

В таблице 3.3. приведены данные по расчету "антирейтинга" достоверности сведений об общем количестве лесных пожаров, а также о количестве пожаров, ликвидированных в первые сутки (таблица 3.2). В частности, наибольшие искажения в архивных данных о лесных пожарах выявлены в Красноярском и Хабаровском краях, Свердловской области, Чукотском автономном округе, а также в Иркутской области.

Таким образом, несанкционированные корректировки в ведомственной отчетности, связанные, например, с искусственным дроблением крупных лесных пожаров на несколько "малых", а также с искусственным повышением доли лесных пожаров, ликвидированных в первые сутки, оставляют в статистике характерный след, который становится заметен на гистограмме. Отклонение статистически значимо и может быть численно оценено с использованием стандартных статистических критериев (наиболее удобна статистика Шапиро-Уилка, так как  $p$ -value, и, соответственно статистическая значимость результата, существенно лучше).

### **3.3 Оценка цикличности периодов со значительной площадью, пройденной огнем**

Горимость в лесах в течение пожароопасного сезона возникает неравномерно, что приводит к возникновению в некоторых регионах чрезвычайных ситуаций, связанных с лесными пожарами (рисунок 3.8). Если рассматривать чрезвычайные ситуации регионального уровня, то они возникают ежегодно в 4 – 12 регионах. Общее количество дней с такими чрезвычайными ситуациями составляет в среднем 190 дней (в пересчете к одному региону), однако

единовременно чрезвычайные лесопожарные ситуации затрагивают как правило не более двух регионов.

Анализ данных за длительные промежутки времени показывает, что в различных регионах мира существуют циклы, в течение которых наблюдается увеличение частоты и интенсивности пожаров. Эти циклы могут быть связаны как с погодной составляющей, так и с лесорастительными особенностями территорий. Несмотря на то, что цикличность всех метеорологических и гидрологических явлений учесть затруднительно, существует мнение, что наибольшее влияние на состояние нижних слоев атмосферы, формирование атмосферных вихрей и антициклоническую деятельность оказывает солнечная активность [221, 222], колебательный характер которой вполне можно оценить.

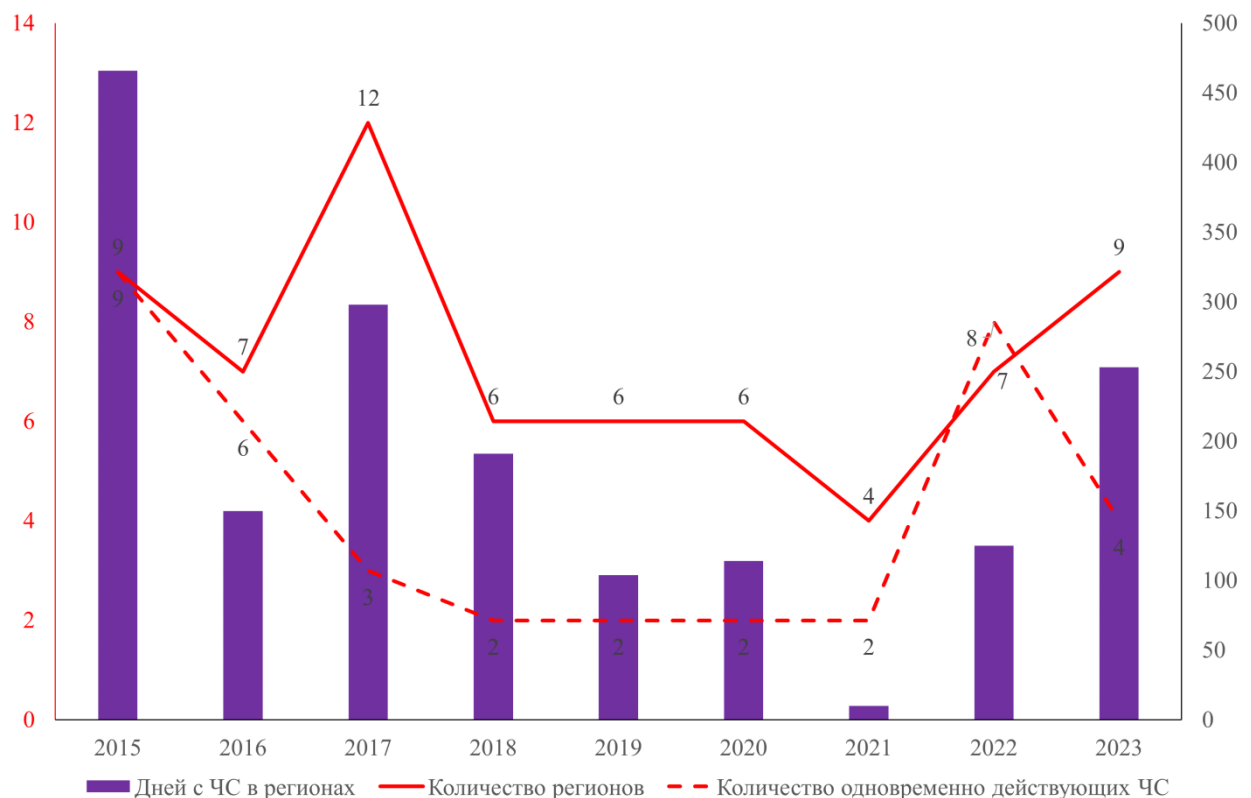


Рисунок 3.8 –Динамика показателей чрезвычайных ситуаций в лесах за 2015 – 2023 годы

Имеющиеся в открытом доступе результаты исследования пожарных режимов российских лесов касались в основном локальных территорий. Дальнейшие исследования затруднялись отсутствием достоверных данных о лесных пожарах за временные интервалы, достаточные для анализа временных циклов. Простое усреднение данных на уровень регионов в целом приводит к смешиванию циклов и "смазыванию" закономерностей динамики горимости, что несомненно снижает эффективность планирования мероприятий, связанных с охраной лесов от пожаров. Вместе с тем формирование больших объемов хорошо структурированных данных дистанционного зондирования лесов из космоса открывает новые возможности для прогресса в этой сфере, что и являлось одной из задач диссертационной работы при изучении региональных особенностей возникновения и распространения лесных пожаров.

Целью рассматриваемой части исследования являлся анализ повторяемости (цикличности) пиков горимости лесов в лесных районах Российской Федерации. Нужно понимать, что если для статистического анализа выбрать территории в границах лесных районов внутри субъектов Российской Федерации (далее – территории), то это станет определенным компромиссом между однородностью условий (в рамках лесного района) и необходимостью обобщения, для получения выборки данных нужного размера (чтобы снизить влияния случайных факторов). Деление лесного района границами субъекта Российской Федерации не только позволяет детализировать результаты (вся площадь лесного района обычно велика), но и дополнительно учесть социально-экономические различия территорий, которые также существенно влияют на площадь, пройденную лесными пожарами.

Известно, что горимость природных территорий традиционно характеризуется количеством возникающих пожаров и площадью, пройденной огнем. При этом необходимо учитывать, что сведения о лесных пожарах,

поступающие от региональных диспетчерских служб, не всегда достоверны и не являются однородными, в том числе из-за того, что пожары на удаленных территориях могут не включаться в официальную отчетность. Кроме того, используемые данные ДЗЗ из космоса также не всегда позволяют отделить лесные пожары от случаев горения, не связанных с пожарами (например, профилактические выжигания, сжигание порубочных остатков и т.п.). Кроме того, при использовании некоторых методов, из-за особенностей детектирования, один крупный пожар может регистрироваться большим числом отдельных "термоточек". Для задач оценки колебательного характера горимости лесов целесообразно использовать не количество пожаров (или "термоточек"), а именно пройденную огнем площадь. При этом важно понять, за сколько лет считать "многолетние значения" и какую градацию оценочных шкал выбрать?

Как уже отмечалось, для корректного анализа цикличности лесных пожаров необходимо анализировать максимально однородные ряды данных, которые получены по одним и тем же алгоритмам на всем анализируемом периоде. Учитывая специфику поставленной задачи в качестве основного источника информации использовалась система ВЕГА-Лес (<http://forest.geosmis.ru/>) [211]. Имеющиеся там сведения о пройденной огнем площади формировались на основе данных, полученных с помощью прибора MODIS (шестая коллекция - MC6), установленного на спутниках Terra и Aqua [212]. Полученный из системы ВЕГА-Лес набор данных был объединен для выделения загораний, зарегистрированных в лесах, с базой данных ИСДМ-Рослесхоз [81].

С целью снижения числа случаев ложного детектирования, для анализа были выбраны только те пожары, которые попадали в выделенные лесопожарные зоны, и только те, у которых лесная площадь превышала 25 га. Кроме того, для повышения точности, на этапе предварительной обработки данные были очищены от выбросов. Учитывая, что площади, пройденные огнем в больших выборках

распределены по закону, близкому к логнормальному [210], то в качестве критерия выбросов был выбран метод на основе функции "medkloud" [223]. Выбросы заменялись на значения, которые были рассчитаны в качестве пороговых. На следующем шаге, для исключения влияния на оценку периода повторяемости значений из данных о площади был исключен тренд (т.е. к выборке данных применено преобразование, позволяющее скорректировать линейную составляющую тенденции изменения). Данное преобразование заключалось в вычитании значений линейной регрессии из данных с использованием метода наименьших квадратов.

За основу предлагаемого подхода взят классический метод спектрального анализа, который предусматривает выбор доминирующего цикла по максимальному значению периодограммы [224]. Из-за специфики алгоритма построения периодограммы на результат сильно влияет длина интервала, по которому производится расчет (так называемые "граничный эффект" и феномен "спектральной утечки"). Подобные негативные эффекты приводят к искажениям в точке, соответствующей половине длины выбранного интервала, а также в точках, соответствующих целым значениям гармоник [225]. Основным методом смягчения влияния такого эффекта является усреднение результатов оценки наличия циклов по выборкам разной длины.

Учитывая, что сокращение длины выборки тоже существенно снижает точность результатов и приводит к частичной потере информации, на основе исходных данных были сформированы следующие контрольные выборки: 1) 2001 – 2022 годы; 2) 2001 – 2021 годы; 3) 2002 – 2022 годы; 4) 2002 – 2021 годы. Такой подход позволил проанализировать влияние на результат как изменение длины интервала, так и его смещение во времени.

Полученные значения доминирующего цикла для всех рассматриваемых территорий по России обычно составляют всего 7 – 8 возможных вариантов.

Это позволяет разделить территории на соответствующие группы с одинаковой повторяемостью пиков горимости.

Так как из-за описанного выше эффекта изменения значений периодограммы для целых гармоник, значение доминирующего периода при увеличении длины интервала незначительно смещается (в сторону увеличения), выполнялось сравнение между выборками указанные выше группы. Если номер группы совпадал не менее чем в трех выборках, то в качестве доминирующего цикла для рассматриваемой территории принималось среднее значение по указанным выборкам. Для остальных участков результат считался недостаточно достоверным

Зная значения доминирующих периодов для отдельных территорий, появилась возможность рассчитать оптимальную глубину ретроспективной выборки для оценки среднемноголетних данных. С учетом принятого в законодательстве срока стратегического планирования, значение глубины выборки не должно быть меньше 10 лет. Для получения искомой величины необходимо увеличивать длительность доминирующего периода в целое число раз и взять за основу первое целое число, большее или равное десяти (так как для снижения погрешности оценки величин, которые изменяются по колебательным законам, в интервале должны быть учтены полные циклы).

Как видно из таблицы 1.1, в которой показаны значения наиболее значимых периодов (доминирующего периода) для каждой группы территорий, сокращение длины анализируемой выборки влияет на значения доминирующего периода. При сокращении длины интервала значение доминирующих периодов немного снижается, и величина этого смещения тоже сокращается. Значение доминирующих периодов в выборках одинаковой длины одинаковы для всех групп и не зависят от смещения по времени.

Таблица 3.4 – Выделение групп территорий с близкими значениями доминирующего периода

Номер выборки	Годы	Группа территорий							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	2001 – 2022	7,3(3)	5,500	4,400	3,6(6)	3,143	2,750	2,4(4)	2,200
2	2001 – 2021	7,000	5,250	4,200	3,500	3,000	2,625	2,3(3)	-
3	2002 – 2022	7,000	5,250	4,200	3,500	3,000	2,625	2,3(3)	-
4	2002 – 2021	6,6(6)	5,000	4,000	3,3(3)	2,857	2,5	2,2(2)	-

Для обобщенного анализа полученных результатов построим график (рисунок 3.9), где по вертикальной оси отложим долю площади территорий, соответствующую каждому доминирующему циклу. По горизонтальной оси последовательно отложим значения периода доминирующего цикла (не в масштабе).

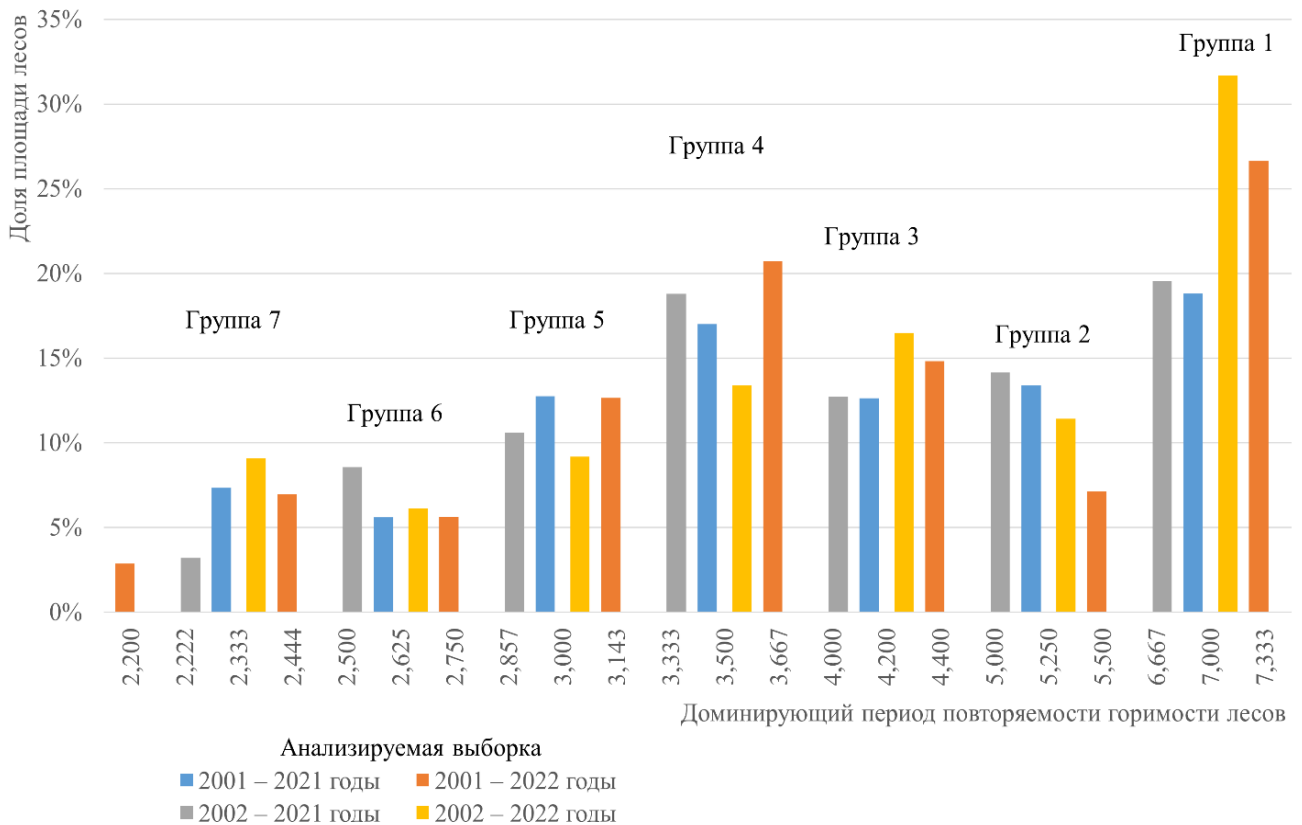


Рисунок 3.9 – Доля площади лесных районов Российской Федерации с соответствующим доминирующим периодом повторяемости горимости (по площадям) по результатам анализа нескольких контрольных выборок данных

Как видно из рисунка, значения периодов для соответствующих групп близки и отличия в большей степени обусловлены спецификой алгоритма расчета периодограммы (которая зависит от объема выборки). При этом доля территории, отнесенной к соответствующей группе (с близкими значениями доминирующего периода), меняется незначительно. Для каждой территории возьмем за основу только ту группу, которая не меняется в трех и более выборках. Для удобства практического использования результатов значения периода для доминирующих циклов округлим до целого значения. Территориальное распределение результата показано на карта-схеме (рисунок 3.10), из которой видно, что для 39 % территорий доминирующий период достоверно определить невозможно.

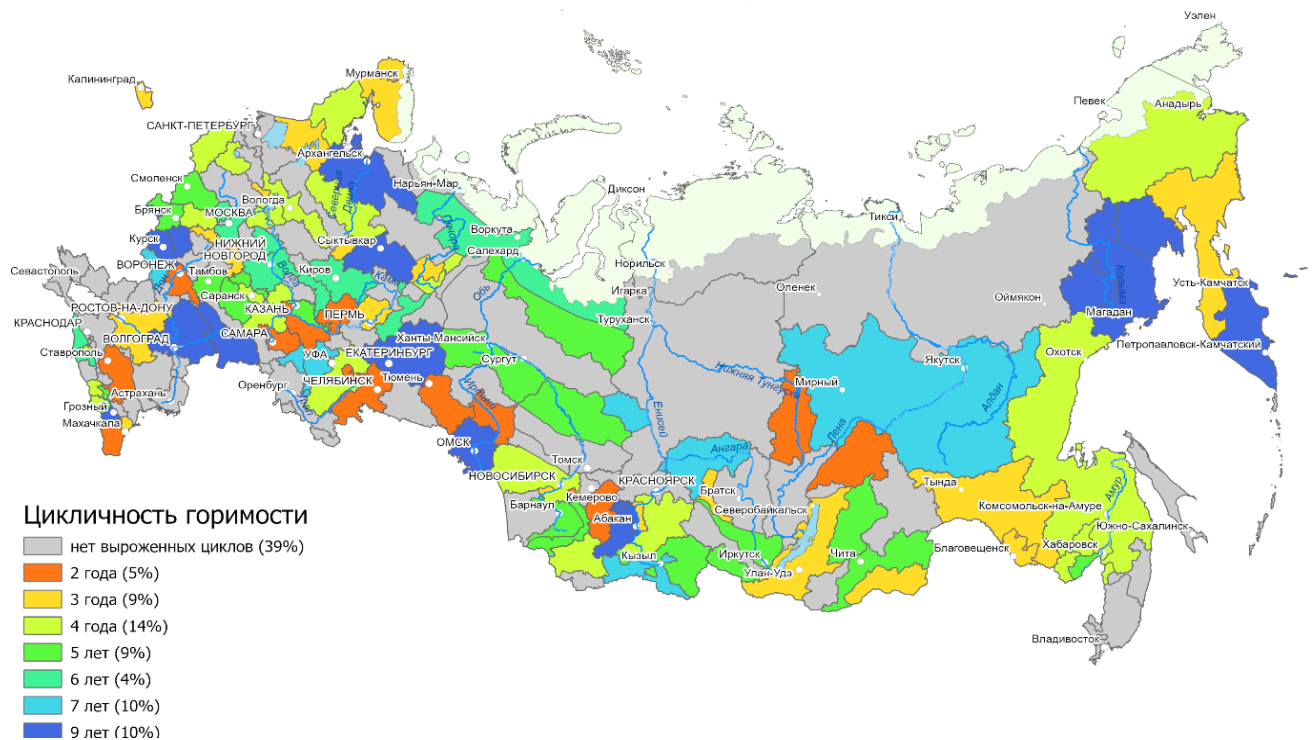


Рисунок 3.10 – Карта-схема повторяемости горимости лесов (по площади) по результатам анализа данных дистанционного зондирования Земли (2001-2022 годы)

Наибольшая доля территорий (14 %) приходится на те, где горимость повторяется приблизительно каждые 4 года. Никаких географических закономерностей в распределении доминирующих циклов по территориям не выявлено. При этом, чем больше доминирующий период (повторения

повышенной горимости лесов), тем достоверность результатов ниже (из-за доступного объема ретроспективных данных). Из наиболее крупных территорий можно выделить те, где повышенная горимость наблюдается в среднем через каждые два года. К ним относятся Восточно-Сибирский таежный мерзлотный район и Среднесибирский плоскогорный таежный район в границах Иркутской области. Цикл в три года характерен для Дальневосточного таежного района Амурской области, Дальневосточного района притундровых лесов и редкостойной тайги Камчатского края, Байкальский горный лесной район в границах Республики Бурятия. Повторяемость раз в четыре года наблюдается на территориях Дальневосточного таежного района в границах Хабаровского края, Дальневосточного района притундровых лесов и редкостойной тайги в границах Чукотского автономного округа, Западно-Сибирского подтаежно-лесостепной район в границах Новосибирской области.

### **3.4 Метод оценки уровня горимости лесов в регионах на основе отклонения значений площадей, пройденных огнем от среднемноголетних значений**

Как известно, большинство оценок пожарной опасности в лесах основано на анализе ретроспективных данных. Здесь важно учитывать, что если мы рассчитываем среднемноголетние значения тех показателей, изменяющихся во времени по колебательным законам, то необходимо выбирать интервал, за который проводится расчет, равный периоду колебаний. В противном случае может получиться ситуация, когда в учет попадает больше периодов с повышенным значением, тогда результат будет завышен; или наоборот, больше периодов с пониженным значением – тогда результат будет занижен.

Для оценки оптимальной глубины ретроспективной выборки исходных данных о горимости лесов рассчитаем для каждой территории ближайшее наименьшее целое число (но не меньше 10 лет), показывающее сколько полных периодов колебаний умещается в искомый интервал. Как видно из диаграммы (рисунок 3.11), для большей части территорий рекомендуемая глубина

ретроспективной выборки составляет одиннадцать лет. Это значит, что для снижения ошибок в среднемноголетних данных, связанных с периодическими изменениями горимости, целесообразно формировать выборку данных длиной 11 лет (или, кратную 11 годам, например, 22 года, 33 года и т.д.) [226].

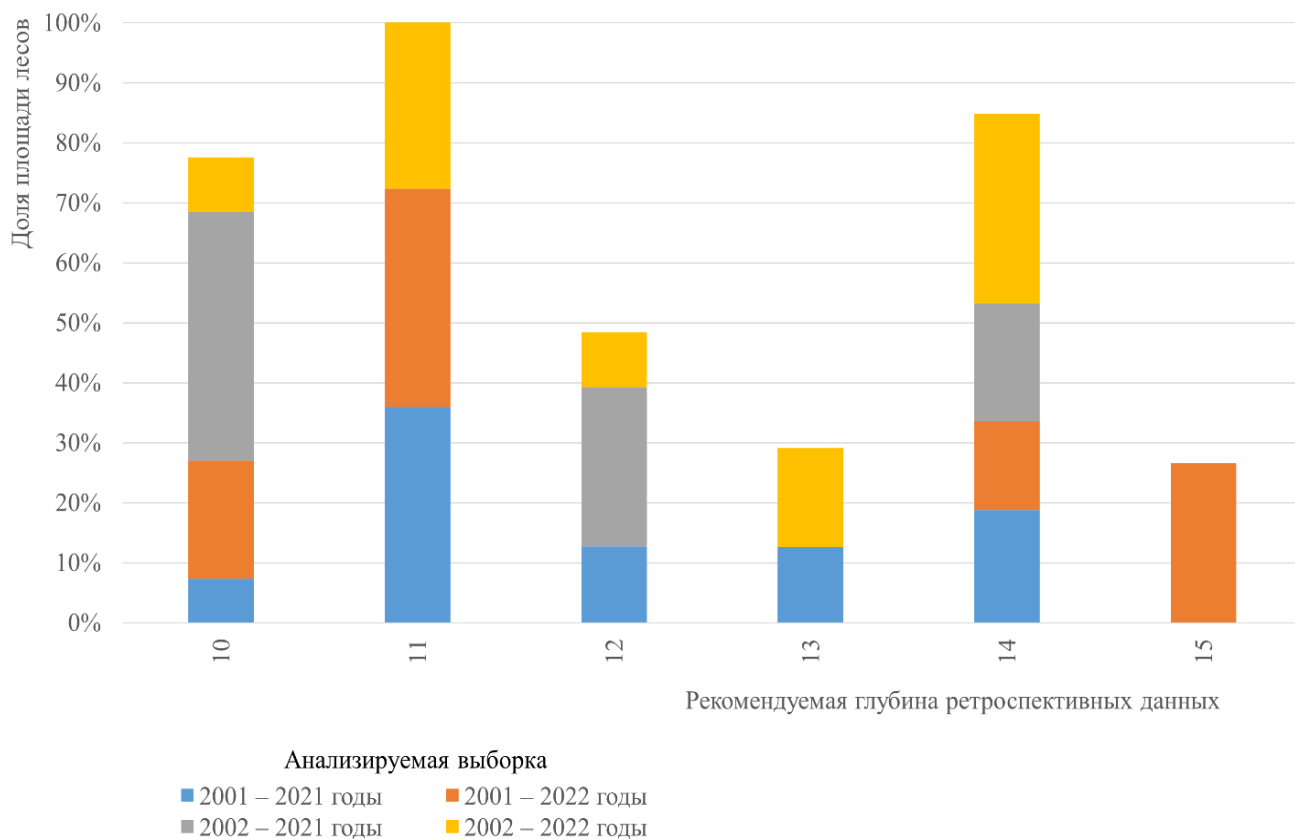


Рисунок 3.11 – Доля территорий с соответствующим значением рекомендуемой глубины ретроспективных данных для снижения влияния цикличности горимости лесов

Полученный результат хорошо согласуется с наиболее известным циклом солнечной активности, который имеет период около 11 лет (цикл Швабе–Вольфа). Этот цикл характеризуется увеличением и уменьшением количества солнечных пятен на поверхности Солнца и обычно его связывают с повторяемостью паводков, циклам маловодных лет, засух и т.д. [221].

Для выбора градаций шкалы в случае сравнения текущих данных с уже набранной статистической выборкой, вполне может использоваться стандартный подход, когда в качестве значений, которые можно считать "среднемноголетним значением" или "нормой", берутся значения в диапазоне стандартного отклонения.

В таком случае, выделяется три класса относительной горимости: 1) среднемноголетнее значение (норма); 2) все, что выше – можно считать "выше нормы"; 3) все, что ниже, – соответственно, "ниже нормы".

В ряде случаев, руководствуясь теми же статистическими правилами, можно выделять значения, которые отклоняются от среднего значения на величину большую, чем 3 сигмы, относя их к "аномально высоким" или "аномально низким" значениям.

При этом принципиально важно учитывать, что большинство значений показателей, связанных с лесными пожарами (таких как частота возникновения лесных пожаров и пройденная огнем площадь), распределяется, как мы уже отмечали, в большой выборке по закону, близкому к логнормальному закону распределения [36, 210].

С этой точки зрения логичнее для оценки интервала, который можно классифицировать как "на уровне среднемноголетних значений", использовать расчет "стандартного отклонения" и "математического ожидания" не самих значений относительной горимости, а преобразованных натуральным логарифмом значений. В таком случае формализованный алгоритм классификации уровня горимости лесов через определение значений ее нижней границы будет иметь вид, указанный в таблице 3.5.

Именно такие границы нами были установлены для отнесения горимости различных регионов в 2023 году, по площадям, пройденным пожарами, к группе "среднемноголетнее значение". То есть те территории, где преобразованное значение было выше этой границы (больше математического ожидания плюс стандартное отклонение), отнесены к уровню "выше среднего". Соответственно, к группе "ниже нормы" отнесены территории, где преобразованное значение ниже указанной выше границы (меньше математического ожидания минус стандартное отклонение).

Распределение горимости по регионам, полученное в соответствии с данной шкалой, приведено на рисунке 3.12, а распределение по классам горимости – на

рисунке 3.13. Хорошо видно, что в соответствии с этими данными в России наблюдалась достаточно "невысокая" горимость (доля площади территории с чрезвычайной горимостью составляет 19 % площади лесов). Это в целом соответствует данным, полученным на основе анализа лесных площадей, пройденных огнем, которые приводились выше. Кроме того, на наш взгляд регионы, в которых действительно наблюдалась высокая горимость, в частности, в них вводились режимы чрезвычайной ситуации в лесах, в соответствии с предложенной методикой выделены вполне корректно. К этим регионам относятся: Свердловская область (почти в 31 раз к среднегодовому и 44 раза к прошлому году); Магаданская область +506 % к среднегодовому и +302 % к прошлому году; Алтайский край +315 % и +191 % соответственно, Новосибирская область +232 % и +30 %; Хабаровский край +144 % и -20 %; Республика Башкортостан +122 % и +760 %; Томская область +3,6 % и +109 %; Тюменская область +72 % и +53 % [227].

Таблица 3.5 – Границы классов для ретроспективного анализа горимости лесов, в сравнении со среднегодовыми значениями

Значение класса (уровень горимости)	Формула нижней границы уровня (с учетом логнормального распределения)
Аномально высокая	$\ln(\bar{x}) + 3 \times \sigma = \ln(\bar{x}) + 3 \times \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n (\ln(x_i) - \ln(\bar{x}))^2}$
Выше нормы	$\ln(\bar{x}) + \sigma = \ln(\bar{x}) + \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n (\ln(x_i) - \ln(\bar{x}))^2}$
На уровне среднегодовых значений	$\ln(\bar{x}) - \sigma = \ln(\bar{x}) - \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n (\ln(x_i) - \ln(\bar{x}))^2}$
Ниже нормы	$\ln(\bar{x}) - 3 \times \sigma = \ln(\bar{x}) - 3 \times \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n (\ln(x_i) - \ln(\bar{x}))^2}$
Аномально низкая	∞

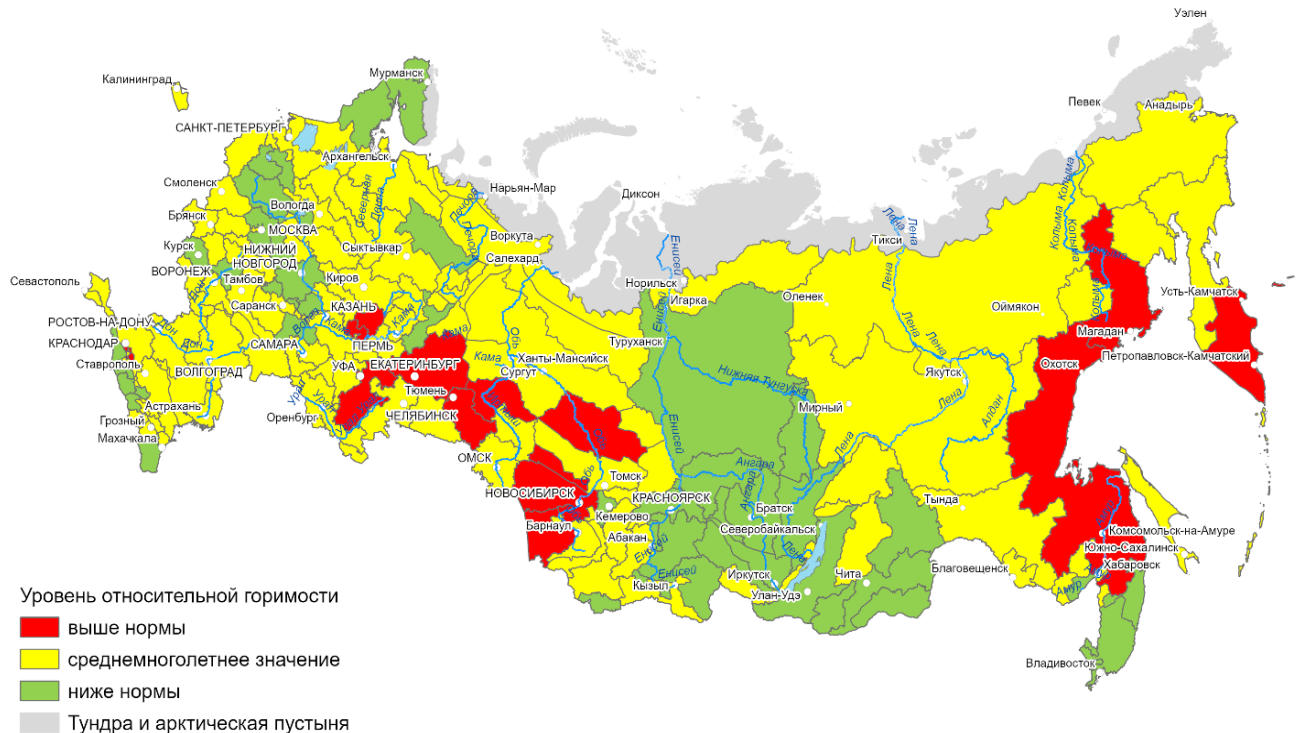


Рисунок 3.12 – Оценка уровня относительной горимости лесов в 2023 году по адаптированной шкале

Следует отметить, что предлагаемый подход к сравнительной оценке горимости регионов не является полностью универсальным. В частности, есть потребность при сравнительном анализе учитывать и динамику доступных ресурсов (как сил и средств тушения лесных пожаров, так и объемы выделяемого финансирования). Такой подход мог бы стать уже четвертым уровнем лесопожарной аналитики, но он выходит за рамки диссертационной работы и является предметом дальнейших исследований.

Предложенный методический подход к оценке горимости лесов на основе отклонения значений площадей, пройденных огнем, от среднегодовых значений позволяет проводить объективный анализ долгосрочных изменений горимости в субъектах Российской Федерации. Для оценки общей тенденции горимости лесов Российской Федерации нами были рассчитаны показатели динамики относительной горимости лесов в субъектах Российской Федерации (в га на 100 тыс. га в год) за период, как было обосновано выше, кратный 11 годам – с 2013 по 2023 годы (рисунок 3.14).

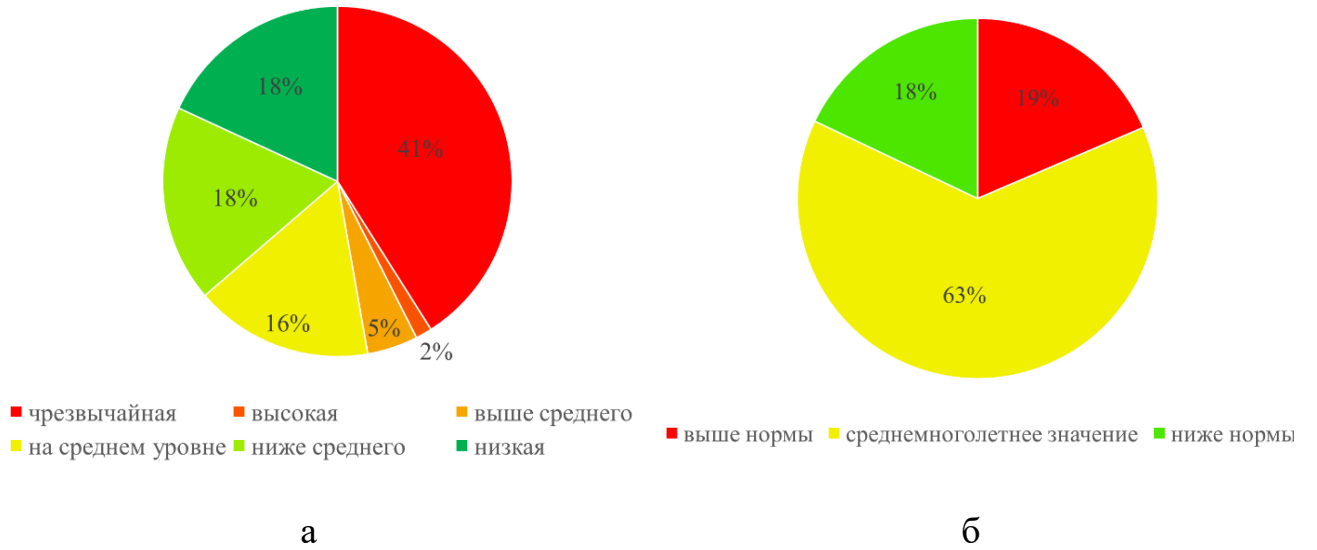


Рисунок 3.13 – Доля площади земель лесного фонда с точки зрения уровня относительной горимости лесов (а) и сравнения со среднееголетними значениями (б)



Рисунок 3.14 – Долгосрочная тенденция изменения относительной горимости лесов за период с 2013-2023 годы (на основе данных ИСДМ-Рослесхоз)

Если рассматривать изменение в процентном выражении (в сравнении со среднееголетними значениями), наиболее значительное увеличение

относительной горимости в указанном периоде наблюдалось в Калининградской области – 19 %, Республике Крым – 16 %, Свердловской области – 13 % в год, Республиках Северная Осетия – Алания, Республике Ингушетия и Курганской области – 11 %, Карачаево-Черкесской Республике, Республике Саха и (Якутия), Чукотском автономном округе, Курской, Псковской и Тюменской областях – 10 %.

При этом в некоторых регионах наблюдается незначительное уменьшение: Республика Марий Эл – -5 %; Рязанская область – -5 %; Республика Алтай – -6 %; Республика Бурятия – -7 %; Забайкальский край – -8 %; Сахалинская область – -9 %; Ненецкий автономный округ – -13 %.

Если рассматривать показатели по России в целом, то площадь, пройденная огнем, устанавливаемая ИСДМ-Рослесхоз, увеличивается в среднем на 196,7 тыс. га в год. Таким образом, можно констатировать, что ситуация с лесными пожарами в целом ухудшается и требует поиска дополнительных мер по повышению эффективности охраны лесов от пожаров.

### **Выводы по главе**

1. Горимость природных территорий традиционно характеризуется показателями количества возникающих пожаров и площади, пройденной огнем. Учитывая сложившиеся особенности учета лесных пожаров (неоднородность данных региональных диспетчерских служб, ошибки при определении случаев лесных пожаров методами ДЗЗ, ошибочная регистрация "термоточек" и др.) рекомендуется оценивать горимость лесов не через количество пожаров (или "термоточек"), а по данным о пройденной огнем площади.

2. С использованием критерия Шапиро-Уилка  $W$  разработан метод оценки достоверности региональных данных о количестве лесных пожаров и количестве пожаров, ликвидированных в первые сутки, который позволяет формировать рейтинг субъектов Российской Федерации с точки зрения достоверности сведений о лесных пожарах. Предложенный метод может стать одним из элементов риск-ориентированного подхода для планирования контрольно-надзорных мероприятий в сфере охраны лесов от пожаров.

3. Для корректного анализа цикличности лесных пожаров предложено анализировать максимально однородные ряды данных, которые получены по одним и тем же алгоритмам на всем анализируемом периоде. На основании проведенных исследований осуществлено разделение территории лесного фонда Российской Федерации на группы с одинаковой повторяемостью пиков горимости. Установлено, что чаще всего встречаются лесные районы (14%), на территории которых горимость лесов повторяется каждые четыре года. При этом повышенная горимость наблюдается в среднем через каждые 2 года в Восточно-Сибирском таежном мерзлотном районе и Среднесибирском плоскогорном таежном районе в границах Иркутской области; каждые 3 года – в Дальневосточном таежном районе Амурской области, Дальневосточном районе притундровых лесов и редкостойной тайги Камчатского края, Байкальском горном лесном районе в границах Республики Бурятия; каждые 4 года - в Дальневосточном таежном районе в границах Хабаровского края, Дальневосточном районе притундровых лесов и редкостойной тайги в границах Чукотского автономного округа, Западно-Сибирском подтаежно-лесостепном районе в границах Новосибирской области.

4. Для 40 % территорий доминирующий период повторяемости циклов горимости по имеющимся статистическим данным достоверно определить невозможно.

5. Доказано, что для достоверной оценки горимости лесов оптимальная глубина ретроспективной выборки исходных данных для большей части территорий лесного фонда должна составлять не менее 11 лет (или кратную 11 годам), которая обеспечивает требуемое снижение ошибок в среднемноголетних данных, связанных с периодическими изменениями горимости.

6. Для сравнения текущих данных по горимости лесов в динамике предложено использовать стандартный подход, когда в качестве средних значений, которые можно считать "среднемноголетним значением" или "нормой", берутся значения в диапазоне стандартного отклонения. Все, что выше – относится к оценке "выше

нормы", а ниже – соответственно "ниже нормы". В случае, когда текущие значения отклоняются от среднего значения на величины больше, чем на три сигмы, их относят к "аномально высоким" или "аномально низким" значениям. Предложенная классификация учитывает оптимальную глубину ретроспективных данных и близость формы распределения площадей лесных пожаров к логнормальной, что позволяет точнее оценить уровень горимости в сравнении со среднемноголетними значениями.

7. Проведенный, на основе данных о лесных площадях, пройденных огнем, анализ показывает, что в 2023 году в России в целом наблюдалась достаточно "невысокая" горимость (доля площади территории с чрезвычайной горимостью составляет 19% площади лесов). Предложенная методика позволила вполне корректно установить регионы, в которых наблюдалась действительно высокая горимость, подтвержденная введением режима ЧС в лесах (Свердловская, Магаданская, Новосибирская, Томская и Тюменская области; Алтайский и Хабаровский края, республика Башкортостан).

8. Исходя из динамики относительной горимости лесов за последнее десятилетие, наиболее значительное увеличение ее ежегодных величин (от 19 до 10 %) наблюдается в Республиках Крым, Северная Осетия – Алания, Ингушетия, Республике Саха (Якутия), Карачаево-Черкесской Республике, Чукотском АО, в Калининградской, Свердловской, Курганской, Курской Псковской и Тюменской областях.

9. В целом по Российской Федерации площадь, пройденная огнем, устанавливаемая ИСДМ-Рослесхоз, увеличивается в среднем на 197 тыс. га в год, что следует рассматривать как прогрессирующее ухудшение ситуации с лесными пожарами и необходимость поиска дополнительных мер по повышению эффективности охраны лесов от пожаров.

## ГЛАВА 4. СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ПОЖАРНОЙ ОПАСНОСТИ В ЛЕСАХ

Пожарная опасность в лесах формируется сложным комплексом естественных и антропогенных факторов. Оценку ее обычно выполняют исходя из природной пожарной опасности, которая определяется по наличию или отсутствию древесной растительности, типу леса (лесорастительных условий), породного состава древостоя, наличия лесных горючих материалов и рядом других медленно меняющихся показателей насаждения. При этом ключевым фактором, определяющим риски возникновения лесных пожаров, являются условия погоды [228]. В отличие от природной пожарной опасности лесов, характеризующейся высокой степенью стабильности во времени, пожарная опасность лесов в зависимости от условий погоды меняется ежедневно [100]. Именно поэтому в России на ее основе устанавливают регламентацию работ лесопожарных формирований, увязывая оптимизацию затрат на мероприятия, связанные с охраной лесов от пожаров, с индексами пожарной опасности по условиям погоды. Так, одно из самых затратных мероприятий в этой сфере – авиационное патрулирование, напрямую зависит от данного индекса [82] и даже небольшое изменение алгоритма его расчета в масштабе страны может привести к значительному изменению затрат на эти цели.

Существенные зонально-географические и лесопирологические особенности территорий России требуют индивидуального подхода к оценке пожарной опасности лесов [229]. Однако несмотря на то, что разработке региональных шкал пожарной опасности по условиям погоды для лесов посвящено большое количество исследований [102, 103, 105, 110 и др.], преимущественно используется только методика В.Г. Нестерова, и в большинстве своем (82 % регионов) – ее классические границы классов [100].

Известно, что для ряда субъектов Российской Федерации Рослесхозом, на основании поступивших предложений от региональных органов исполнительной власти в области лесных отношений, утверждены свои границы данного показателя [112]. Так как проверка предложений законодательно не была предусмотрена, эти субъекты воспользовались ситуацией, чтобы перераспределить на другие (более насущные, с их точки зрения) цели, часть средств, запланированных на охрану лесов, за счет занижения границ классов (и соответственно, количества лётных часов на авиапатрулирование лесов). Это является дополнительным фактором, в сторону унификации подхода к расчету региональных шкал оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды и обновления нормативной правовой базы в этой сфере. Попытки решения данного вопроса уже предпринимались. В частности, коллегами из ФГБОУ ВО "Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России" прорабатывались варианты формирования комплексной оценки пожарной опасности на основе регрессионных моделей [230] на примере одной метеостанции. Однако, на наш взгляд, данный подход невозможно масштабировать для использования на уровне больших территорий, из-за сложности получения необходимого объема и детализации исходных данных.

Накопление больших объемов структурированных данных в сфере охраны лесов от пожаров, а также развитие информационных технологий, позволяют сегодня оптимизировать существующие подходы к определению граничных значений комплексного показателя пожарной опасности в лесах по условиям погоды и выполнить детализированные расчеты для всех регионов Российской Федерации.

В рамках ранее проведенных исследований были обоснованы подходы к сравнению шкал на основе расчета корреляции между преобразованными значениями индекса пожарной опасности и частоты возникающих пожаров [231]. В частности, целью указанных индексов является, в первую очередь, оценка рисков

возникновения лесных пожаров, хотя естественно, что условия погоды также влияют и на темпы распространения пожара, и на сложность его тушения. Но поскольку на площадь, пройденную огнем, влияет гораздо большее число факторов (включая, техническую оснащенность подразделений, объемы финансирования, наличие инфраструктуры, а также качество управленческих решений), то использование показателей пожарной опасности (независимо от шкал) дает "смазанные" результаты. Таким образом, для оценки качества различных методик целесообразно использовать в качестве критерия оценки корреляцию между индексом и частотой возникающих пожаров.

Рассмотрим вопросы совершенствования оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды более детально.

#### **4.1 Применимость действующих методик оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды**

Существуют различные методики оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды [33, 36, 104, 105]. Наиболее распространенными являются методика В.Г. Нестерова, ПВ-1 и ПВ-2, расчет значения которых в настоящее время автоматизирован средствами ИСДМ-Рослесхоз [232]. В литературе упоминается и шкала ПВГ [104], которая на практике практически не используется. Все индексы, рассчитанные по указанным методикам, принципиально отличаются в основном лишь методами учета осадков. Большое разнообразие зарубежных индексов и показателей [28, 233–236] не может быть применено для условий Российской Федерации из-за ограниченного объема доступной информации.

Учитывая разные методические подходы (в частности, к учету осадков) и отличия лесоводственных и природно-климатических условий, а также разную плотность метеостанций в разных лесных районах, рассчитанные по указанным методикам значения существенно различаются. Таким образом, актуальной является проблема оценки того, какая методика более адекватно соотносится

с реальным риском возникновения лесных пожаров. В связи с этим для совершенствования подходов к оценке пожарной опасности в лесах по условиям погоды, нами проведено сравнение возможностей наиболее распространенных методик для этих целей. В процессе работ был также проведен выбор критериев оценки шкал и создан инструментарий, упрощающий визуализацию полученных результатов.

Исходными данными для исследования были сведения о лесных пожарах по данным наземных и авиационных наблюдений, полученные от региональных диспетчерских пунктов за 11-летний период – с 2012 по 2022 годы. Комплексные показатели пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды рассчитаны по четырем методикам: В.Г. Нестерова; ПВ-1, ПВ-2 и ПВГ также за с 2012 по 2022 годы [16, 100] (получены из ИСДМ-Рослесхоз [87, 166]).

Перечисленные выше 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) [104]. Для удобства практического использования нормативно задают границы индексов и определяют значения классов, то есть, задают шкалу пожарной опасности. Указанные шкалы могут отличаться для разных регионов. Вместе с тем для оценки качества методик далее в исследовании будут сравниваться не шкалы, а сами индексы.

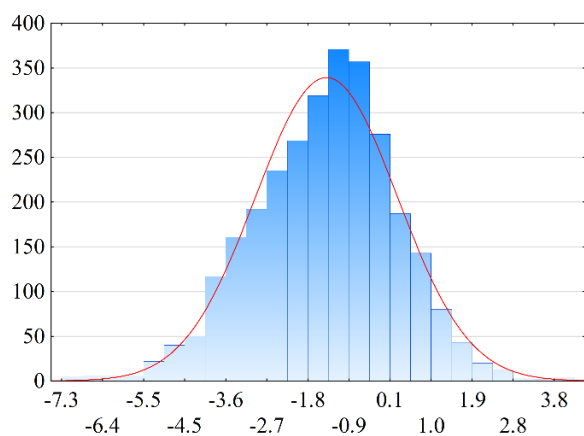
Для оценки методик применяется несколько подходов. Один из них – это сравнение значений с влагосодержанием однотипного эталонного РГМ (растительного горючего материала, обычно покрова из зеленых мхов на дренированной почве) или по сопряженности с пожарной зрелостью опытных участков [104, 237]. Еще один вариант оценки эффективности работы показателей (индексов) – метод статистических проб, например по способности выделять дни с альтернативными уровнями пожарной опасности, как очень низкой, так и наиболее высокой [237].

Также существует возможность непосредственного сравнения степени связи индекса пожарной опасности по условиям погоды с частотой лесных пожаров. С увеличением объема данных именно этот метод становится более предпочтительным. Обычно сравнивается значение индексов либо с вновь возникающими лесными пожарами, либо с пожарами, действующими в этот день [104]. 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.). То есть при сравнении шкал лучше анализировать только вновь возникающие лесные пожары.

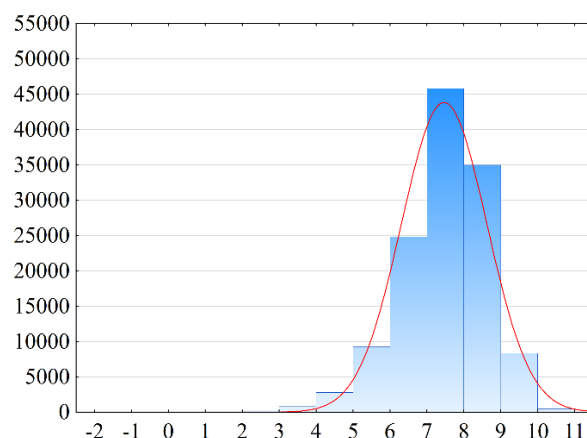
Наиболее простым и распространенным подходом для оценки того, насколько адекватно тот или иной индекс характеризует риски возникновения лесных пожаров, является расчет корреляционной связи (уровня связи) между этим индексом и числом лесных пожаров. Ряд аналогичных исследований уже проводился ранее [28, 31, 36, 233, 235], однако большинство указанных работ выполнены на ограниченном объеме данных или для конкретного участка лесов, что не позволяет интерполировать их на более крупные лесные территории.

Вместе с тем, 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, хотя указанная статистика применима только для случая нормального распределения значений.

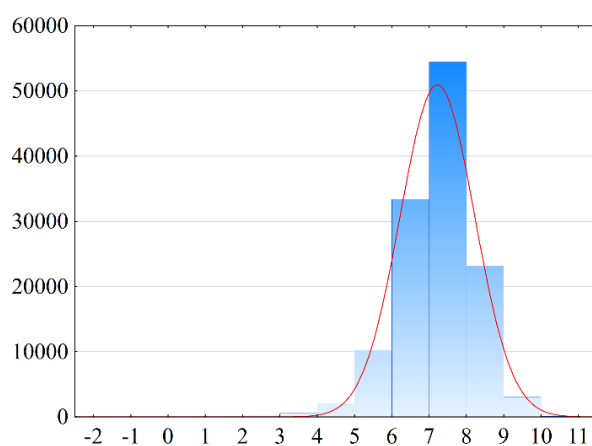
Как нами показано выше, форму исходных данных существенно лучше описывает не нормальное, а логнормальное распределение [210]. Опираясь в анализе преобразованными натуральным логарифмом значениями (рисунок 4.1), можно использовать корреляцию Пирсона, которая будет значительно лучше отражать степень взаимосвязи сравниваемых показателей.



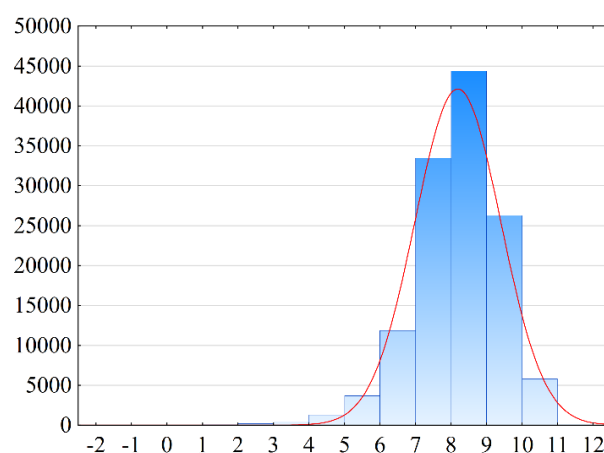
а)



б)



в)



г)

Рисунок 4.1 – Форма распределения преобразованных значений исходных данных. По вертикали – количество случаев, по горизонтали: а – логарифм частоты лесных пожаров, б – логарифм индекса В.Г. Нестерова, в – логарифм индекса ПВ-1, г – логарифм индекса ПВ-2

Используя функционал программы Statistica (в частности, модуль "Подгонка"), был рассчитан критерий Колмогорова-Смирнова, показывающий близость реального распределения индексов пожарной опасности в лесах к стандартным параметрическим распределениям (таблица 4.1).

Поскольку лесопожарная обстановка подвержена влиянию большого количества факторов, то ее характеристики будут иметь большие колебания 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).

Таблица 4.1 – Оценка близости реальных распределений к основным параметрическим распределениям по критерию Колмогорова-Смирнова

<b>Параметрическое распределение</b>	<b>Частота возникновения пожаров</b>	<b>Индекс В.Г. Нестерова</b>	<b>Индекс ПВ-1</b>	<b>Индекс ПВ-2</b>
Логнормальное	0.035	0.049	0.052	0.041
Нормальное	0.383	0.187	0.172	0.198

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. Таким образом, 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 количество лесных пожаров, возникших в эту декаду при заданном значении логарифма индекса и для данного участка территории. Однако для удобства сравнения горимости между разными территориями (лесными районами внутри субъектов Российской Федерации), будем использовать частоту лесных пожаров (количество 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.

С учетом перечисленных особенностей, итоговый алгоритм обработки исходных предусматривал следующие пошаговые действия:

- формирование списка лесных пожаров в разрезе лесных районов внутри субъекта Российской Федерации;
- определение логарифма индексов пожарной опасности для каждого лесного пожара;
- группировка лесных пожаров по значениям логарифма индекса, округленного до одной десятой;
- определение значения логарифма суммы лесных пожаров по каждой группе;
- расчет значений корреляции Пирсона, а также коэффициентов статистической значимости указанного расчета (р-значение);
- выбор методики расчета индекса, с наибольшим значением корреляции (учитывая только случаи, для которых р-значение не превышает 0.05).

Учитывая предложенную выше методику, была сформирована выборка, включающая: код лесного района внутри субъекта Российской Федерации, логарифм индекса В.Г. Нестерова, логарифм индекса ПВ-1, логарифм индекса ПВ-2, логарифм индекса ПВГ, логарифм частоты возникновения лесных пожаров. Указанная выборка содержит 345805 записей. Результат сравнительного анализа представлен на рисунке ниже (рисунок 4.2).

Полученные в ходе исследования результаты позволили сделать вывод, что для 30 % лесов в России лучший результат показала методика ПВГ. По нашему мнению, 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 возникнуть. Учитывая, что в методиках ПВ-2 и ПВГ алгоритм снижения значения индекса в зависимости от

количества осадков более плавный, они показывают большую корреляцию с пожарами в регионах, где плотность метеостанций ниже.

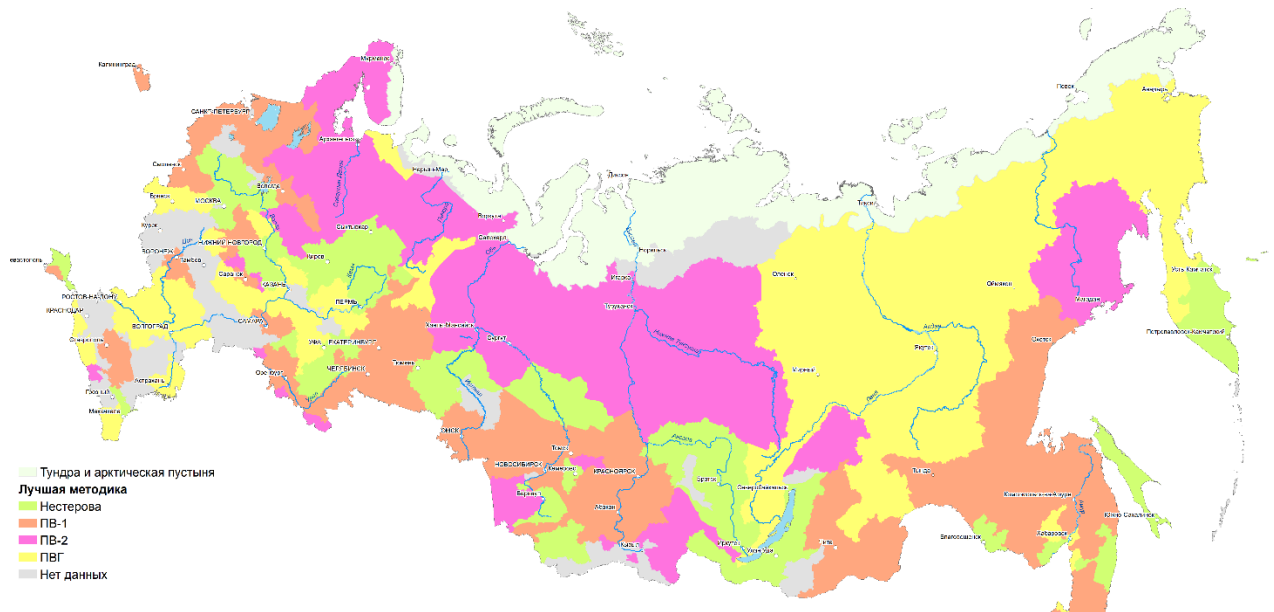


Рисунок 4.2 – Распределение территорий, где указанные методики оценки пожарной опасности в лесах имеют большее соответствие частоте возникающих лесных пожаров (2012 – 2022 годы)

На методику ПВ-2 приходится 26 % территории, на ПВ-1 – 20 %. Методика В.Г. Нестерова (13 % территории) изначально разрабатывалась для европейской части страны, поэтому не удивительно, что именно там она показывает наилучшие результаты. Для 11 % территории полученный результат расчетов не является статистически значимым, и сделать вывод о том, какая методика для этой территории является лучшей – не представляется возможным.

Для удобства интерпретации полученного результата на базе платформы DataLens была 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 оценки доли площади, на которой соответствующая методика показывает лучшие результаты [238].

Для сравнения результатов отобразим на одном графике значение корреляции (по горизонтали) и доли площади лесных районов, с соответствующей методикой (по вертикали) (рисунок 4.3). Значения площади участков с разной корреляцией предварительно отсортированы по её убыванию. Данный вариант визуализации упрощает интерпретацию полученных результатов и может быть использован в будущих системах поддержки управленческих решений.

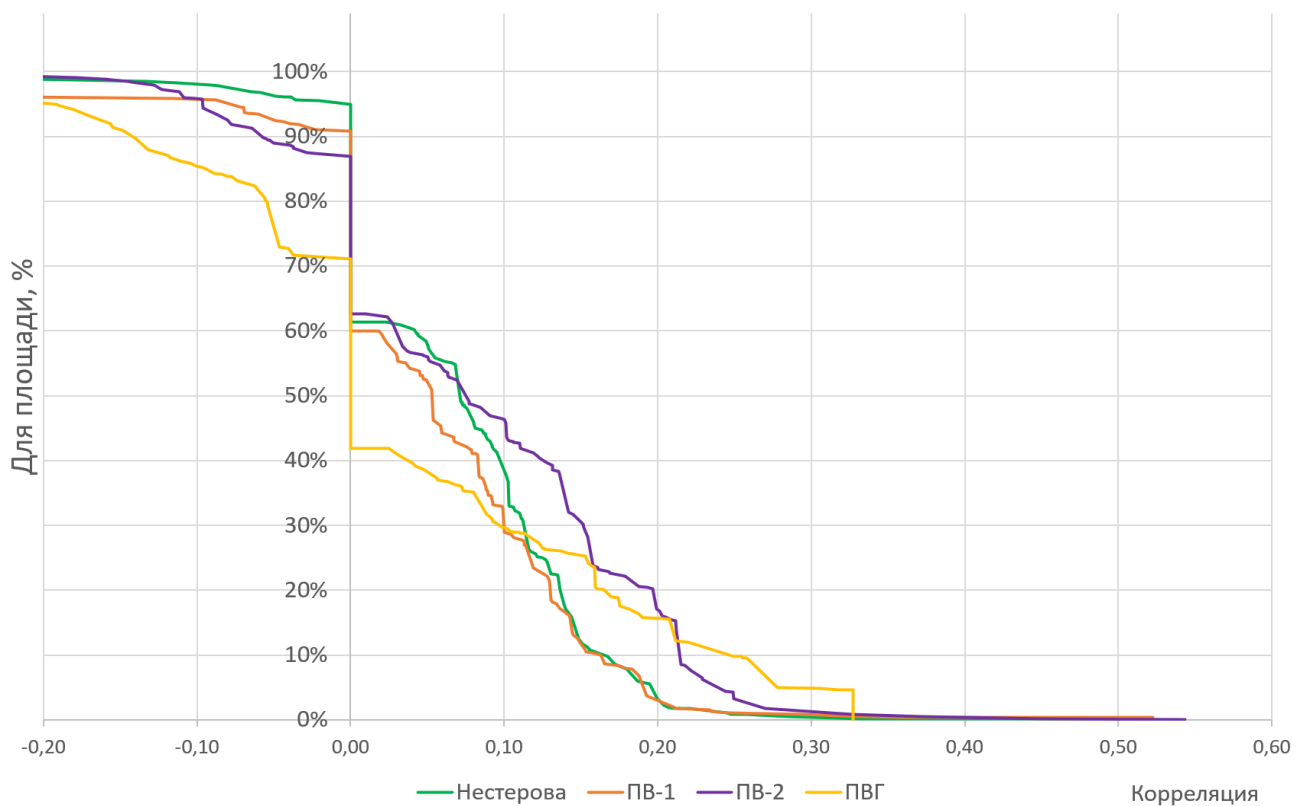


Рисунок 4.3 – Сравнительный график взаимосвязи корреляции между соответствующими показателями пожарной опасности в лесах и частотой лесных пожаров (по горизонтали) и долей площади лесных районов (по вертикали)

По графику визуально видно, насколько отличается качество каждой методики (по вертикальной оси, чем выше – тем качество лучше). Если линии графика находятся левее нуля, то методики следует считать полностью

неприменимыми. Это также означает, что такой график показывает, для какой доли площади корреляция будет не менее заданной (по горизонтальной оси).

В частности, если рассматривать не сравнение методик между собой, а просто их применимость на территории, то шкала ПВГ может использоваться только на 41 % территории, ПВ-1 на 59 %, В.Г. Нестерова на 61 %, а ПВ-2 на 63 %. Следует отметить, что результаты сравнения колеблются для разных лет и разных размеров выборки. Это связано с тем, что на частоту пожаров влияют и другие факторы, не связанные с погодой. В связи с этим методику следует считать лучшей только в случае, если она превосходит другие на значительную величину. В указанном выше дашборде [238] были реализованы возможности выбора разных значений указанной величины. Учитывая, что в лесном хозяйстве для большинства таксационных характеристики насаждений допускается ошибка не более 10 %, в качестве порога сравнения шкал также был выбран уровень в 10 %.

Сравнивая для каждой территории (субъекта Российской Федерации в целом для малолесных районов или лесного района внутри субъекта Российской Федерации для остальных) значение корреляции Пирсона для преобразованных (натуральным алгоритмом) значений индексов пожарной опасности и частоты возникновения лесных пожаров, выбираем значения с большей корреляцией, при условии, что ее значение превышает остальные более чем на 10 %. Учитывая, что позиция Федерального агентства лесного хозяйства заключалась в том, что менять уже утвержденную методику (В.Г. Нестерова) на другую можно только в случае надежных результатов, то для территорий, где нет явно выраженных различий (а это 40,6 % площади), принято решение методику не менять (т.е. остается утвержденная методика В.Г. Нестерова).

Итоговый результат выбора наиболее оптимальной методики расчета индекса пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды представлен в виде карта-схемы (рисунок 4.4).

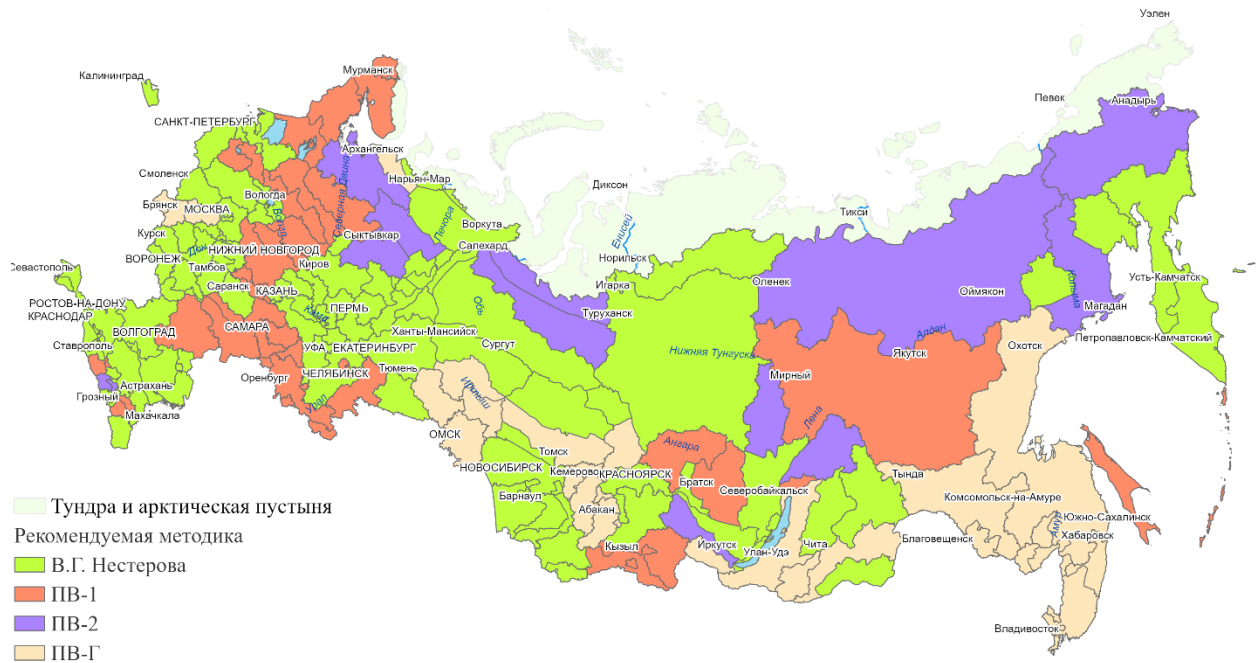


Рисунок 4.4 – Карта-схема рекомендуемых методик оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды

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, является тупиковыми. Нужно либо радикально увеличивать число метеостанций, либо переходить на учет осадков отдельно по территории лесов, например, на основе космических данных или данных метеорологических радаров.

#### 4.2 Обоснование модифицированной методики расчета региональных шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды

Как было показано выше, статистика возникновения лесных пожаров на различных территориях и для разных периодов пожароопасного сезона существенно отличается, что обуславливает необходимость разработки отдельных (региональных) шкал пожарной опасности по условиям погоды, позволяющих более достоверно оценивать риски возникновения и динамику ситуации. В данном разделе рассмотрим методические подходы к расчету границ классов пожарной

опасности в лесах в зависимости от условий погоды для различных территорий (далее – региональные шкалы).

Для достижения указанной цели предусматривалось решение следующих пошаговых задач:

- определение минимальной территориальной единицы, для которой будет выполнен сравнительный расчет комплексных показателей (индексов) пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды;

- выбор временного диапазона, по которому будут формироваться выборки для расчета индексов, и определение оптимального интервала агрегирования данных по времени;

- обоснование критерия, по которому будут выбираться наиболее адекватные методики для расчета индекса пожарной опасности и методика для расчета региональных шкал (границ классов) пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды;

- обоснование критерия, по которому будет оцениваться целесообразность разработки разных шкал для разных периодов пожароопасного сезона;

- разработка программы (набор программных скриптов) для обработки данных;

- создание инструментария визуализации полученных в ходе расчета региональных шкал, упрощающего процесс контроля и интерпретации результатов.

Предложенные в ходе работы подходы, в частности, по обоснованию формы распределения значений в исходных данных [239], использованию средневзвешенного значения показателей [240], учету внутрисезонной динамики горимости, а также по выбору методики расчета индекса, наиболее подходящей для данной территории, можно отнести к научной новизне исследования.

В качестве исходных данных для достижения поставленной цели использовались сведения о лесных пожарах по результатам наземного

и авиационного мониторинга, поступающие из региональных диспетчерских служб. Их анализ показал, что большой разброс места и времени возникновения лесных пожаров может быть вызван случайными факторами, не связанными с погодными особенностями, что приводит к необходимости агрегировать значения методом усреднения данных. Следовательно, выбор оптимального способа агрегирования исходных данных существенно влияет на точность прогнозирования. При этом необходимо учитывать, что излишнее усреднение не позволяет учесть специфику отдельных территорий и обуславливает необходимость их дробления на более мелкие образования.

Опыт практического применения классов пожарной опасности показывает, что целесообразно привязываться к территориальному делению территорий. При этом деление по лесничествам на первый взгляд кажется логичным, но на практике малоприменимым, так как для некоторых лесничеств количество пожаров незначительно или они вообще отсутствуют. Учитывая, что административные границы территорий характеризуют уровень социально-экономического развития, а границы лесных районов характеризуют территории с относительно схожими условиями, то оптимальным вариантом для малых регионов будет учет всей площади целиком, а для крупных – ее деление по границам лесных районов. К крупным регионам отнесены субъекты Российской Федерации, площадь лесов в которых превышает 20 млн га.

Использование данных дистанционного мониторинга лесных пожаров из космоса затруднено явлением, связанным с дроблением крупных пожаров (из-за облачности и ограниченности количества спутников). При этом наземные данные, со своей стороны, также имеют недостатки по достоверности, обусловленные человеческим фактором. Чем дальше в прошлое, тем ниже качество. В связи с этим для снижения влияния указанных факторов неопределенности на получаемые оценки, в соответствии с указанными в предыдущей главе выводами, был выбран диапазон в 11 лет с 2012 по 2022 годы, учитывающий в том числе среднюю

продолжительность солнечного цикла, оказывающего воздействие на лесопожарную ситуацию. Согласно данным [231], оптимальным уровнем агрегирования по времени можно считать декаду года (10 дней).

Из-за принципиально разных природно-климатических и лесопирологических особенностей территорий, а также из-за различной плотности расположения метеостанций (что влияет на правильность учета осадков), выбрать единую методику для всей территории страны затруднительно. Но, как было обосновано в предыдущих исследованиях [231], имеется возможность для каждой территории установить свою, наиболее подходящую шкалу. В качестве критерия оценки адекватности шкал целесообразно определить взаимосвязь между значением индекса и частотой возникновения лесных пожаров. Причем учитывая, что форма статистического распределения значений (как индексов, так и частоты лесных пожаров) в большой выборке ближе к логнормальному значению [239], то целесообразно преобразовывать значения (натуральным логарифмом), что позволит использовать показатель корреляции Пирсона [231, 239]. То есть оптимальный шаг группировки случаев будет равняться 0.1 логарифма от анализируемого значения. В качестве примера приведен график взаимосвязи показателя пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды и частоты возникновения лесных пожаров для Западно-Сибирского южно-таёжного лесного района Красноярского края в весенне-летний период 2012-2022 годы. (рисунок 4.5).

На рисунке все дни с пожарами сгруппированы по интервалам, начало и конец которых рассчитывается по формуле ( 1 ), а также средней за 10 дней частоты возникновения лесных пожаров.

$$g_n = e^{0.1 \times n} \quad (1)$$

где  $g_n$  – границы интервалов, по которым группируются значения индексов;  
 $n$  – номер интервала (ряд целых чисел начиная с 0);  
 $e$  – основание натурального логарифма.

Общий размер получившейся выборки составил 657 записей. Диаметр кругов на рисунке пропорционален количеству случаев. Как видно из графика, выбранное агрегирование данных позволяет выделить явную закономерность и приемлемо для дальнейших исследований.

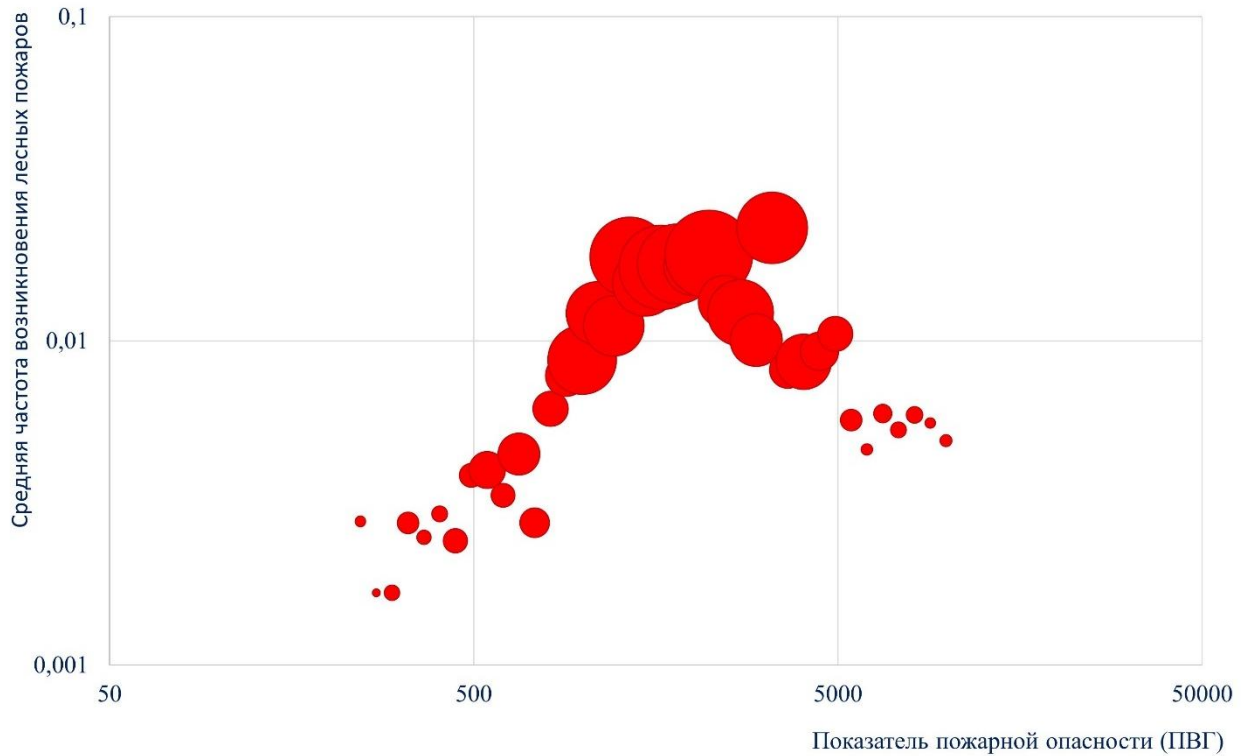


Рисунок 4.5 – Пример взаимосвязи между показателем пожарной опасности в лесах, в зависимости от условий погоды и частотой возникновения лесных пожаров для Западно-Сибирского южно-таёжного лесного района Красноярского края в весенне-летний период 2012 – 2022 годы

Несмотря на то, что для существующего подхода к оценке пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды, основанному на накопительных индексах засухи, альтернативы нет, ряд организационно-технических проблем, связанных с методиками, необходимо было решить.

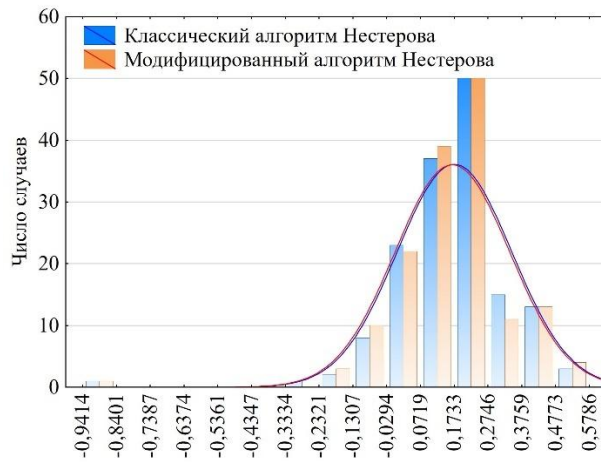
Так, в утвержденной методике В.Г. Нестерова для расчета значения комплексного показателя на текущий день предусмотрено использовать данные по температуре воздуха и температуре точки росы из официальных метеонаблюдений по сроку, ближайшему к 14:00 текущего дня. Вместе с тем, с организационной точки зрения, принимать решение о вылете воздушного судна необходимо утром

(обычно до 9 часов местного времени). Следовательно, использование прогнозных значений, полученных таким способом, приводит к тому, что в ряде случаев принятое решение о необходимости патрулирования на основании прогноза, может быть оспорено после перерасчёта по фактическим значениям. Таким образом, в результате могут возникнуть претензии со стороны проверяющих органов к обоснованности трат бюджетных средств.

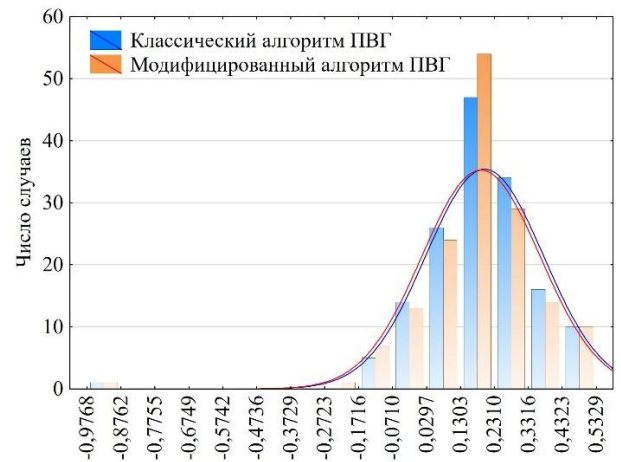
Данная проблема решена в таких методиках как ПВ-1 и ПВ-2. Учитывая, что все индексы накопительные, то использование температуры, измеренной в предыдущий день, не сильно влияет на значение индекса [231]. Для преодоления указанных недостатков, основываясь на аналогичном подходе по определению значений показателей ПВ-1 и ПВ-2, предлагается скорректировать алгоритм расчета комплексного показателя В.Г. Нестерова и показателя ПВГ, используя значения температуры воздуха и температуры точки росы из официальных метеонаблюдений по сроку, ближайшему к 14:00 предыдущего дня. При этом осадки должны учитываться на утро (чаще всего на 9:00 местного времени) текущего дня.

На основе анализа большого объема данных по всей стране за последние 11 лет, можно сделать вывод, что выбранный в качестве оценки указанный выше критерий ухудшается незначительно (существенно меньше естественных колебаний), что дает основание в дальнейшем для рассматриваемого исследования использовать именно модифицированные варианты расчета индексов В.Г. Нестерова и ПВГ (рисунок 4.6, таблица 4.2).

Как видно из гистограмм, отклонение между результатами, полученными для алгоритма, основанного на данных температуры и точки росы предыдущего дня, и результатами, полученными для алгоритмов, основанных на данных температуры и точки росы, схожи (отклонение не более 6 %). Это связано с накопительным характером получаемых индексов и подтверждает возможность использования в расчете указанных исходных данных за вчерашний день.



а) Показатель В.Г. Нестерова



б) Показатель ПВГ

Рисунок 4.6 – Оценка влияния корректировки алгоритма расчета комплексных показателей оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды на гистограмму распределения значений показателей и частоты возникновения лесных пожаров

Таблица 4.2 – Сравнение адекватности модифицированных методик по значению корреляции между преобразованными значениями индексов и частоты возникновения лесных пожаров

Особенности алгоритма	Методика В.Г. В.Г. Нестерова	Методика ПВГ
Классический подход с данными о температуре в текущий день	0,3187	0,3622
Предлагаемый подход с данными о температуре за предыдущий день	0,3017	0,3398

Другим важным элементом методики оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды является классификация пожарной опасности, которая заключается в выборе значений индексов, которые будут разграничивать классы. При этом следует руководствоваться следующими принципами.

Во-первых, регламентация работы лесопожарных служб в различных регионах должна основываться на единых подходах и быть эквивалентна уровню нагрузки на лесопожарные формирования. То есть третий класс пожарной опасности должен характеризовать средний уровень опасности как в крупном регионе (например, Республика Саха (Якутия), так и в малолесных регионах

(Воронежская область). Шкала должна зависеть в первую очередь от погодных условий, а не от того, насколько хорошо организована охрана. В связи с этим, деление по классам нужно основываться именно на возникающих пожарах, а не действующих. Конечно, погода влияет в том числе и на условия тушения, но это влияние сложно отделить от других факторов.

Во-вторых, при корректировке шкал желательно сохранить определенную преемственность подходов. Учитывая изложенное, считаем целесообразным сохранить классический принцип расчета границ классов в шкале пожарной опасности, соответствующих проценту возникающих лесных пожаров: 5 %; 20 %; 45 %; 70 %. Для этого необходимо выборку пар значений количества (или частоты возникновения) лесных пожаров с соответствующими значениями индексов пожарной опасности распределить по возрастанию значения индексов. Далее отделить 5 % всех пожаров и по шкале индексов получить значение, разделяющее 1 и 2 класс пожарной опасности; затем вычислить значение для 20 % возникающих пожаров, разделяющее 2 и 3 класс, и т.д.

Учитывая, что в ряде регионов наблюдается различный характер горимости территорий внутри пожароопасного сезона, была проведена оценка наличия характерных пиков горимости. Для этой цели в качестве границ лета экспертным путем, был выбран период с 17 по 23 декаду (с 11 июня по 20 августа). В связи с наличием существенных случайных межгодовых колебаний пиком считался период, среднее значение возникающих за декаду лесных пожаров в котором превышает значения в другие периоды на 30 %. Пример распределения среднедекадного количества возникающих лесных пожаров в анализируемом периоде в Красноярском крае приведен ниже (рисунок 4.7). Как видно из диаграммы, в представленном случае наблюдается весенне-летний пик лесных пожаров. Для выполнения описанных выше расчетов, а также для визуализации полученных результатов, авторами было разработано программное обеспечение [241], которое представляет собой набор программных модулей (скриптов), а также дашборд, сформированный в среде DataLens (рисунок 4.8, приложение Б).

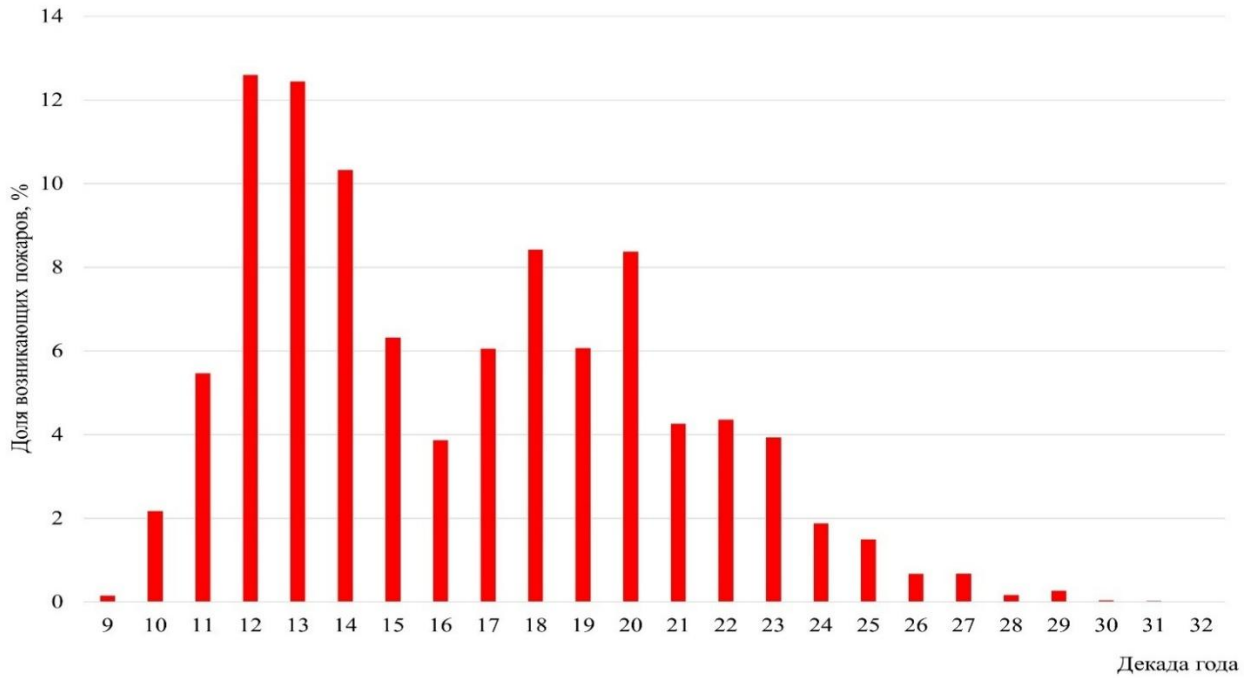


Рисунок 4.7 – Распределение пожаров внутри пожароопасного сезона. Красноярский край, 2012 – 2022 годы

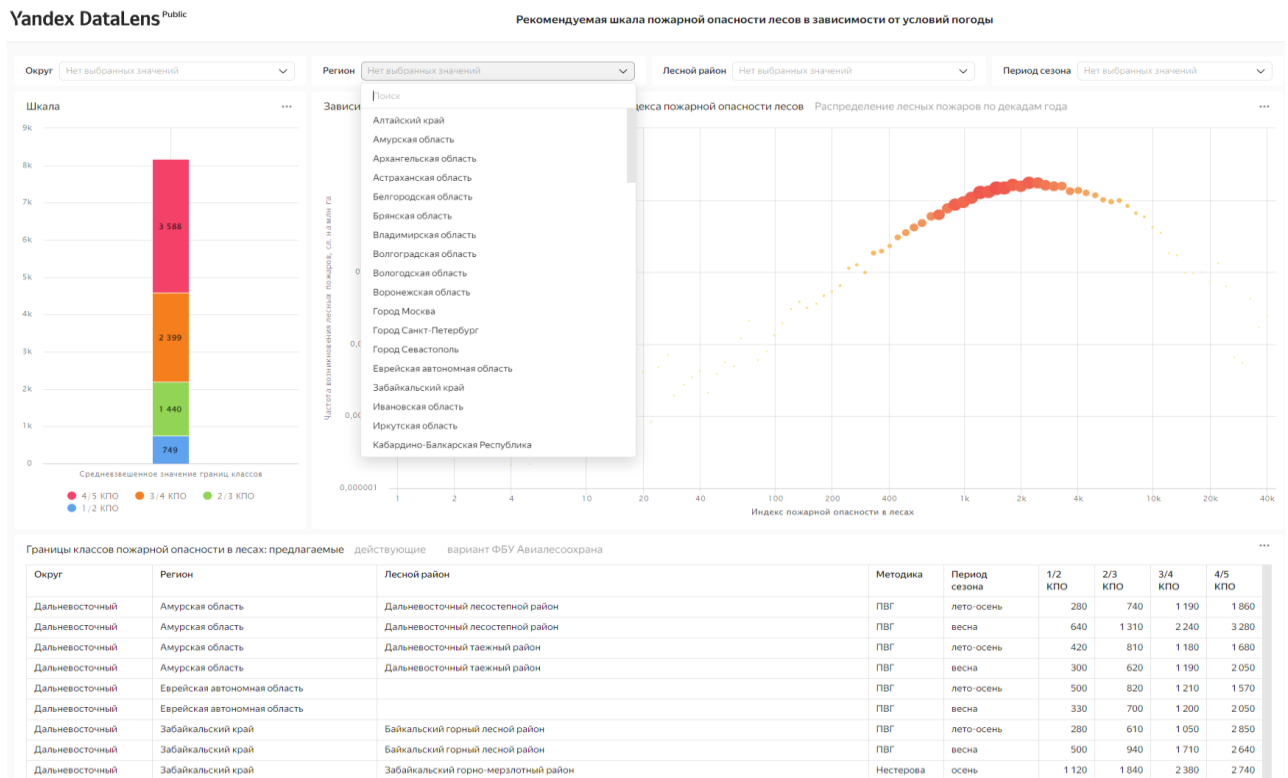


Рисунок 4.8 – Пример интерфейса программного обеспечения для визуализации результатов расчета границ классов пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды

Используя описанный выше подход к предварительной обработке исходных данных, были сформированы 4 выборки формата:

- индекс пожарной опасности, соответствующий центру интервала, определяемого по формуле ( 1 );
- средняя за декаду частота возникающих лесных пожаров (далее – частота лесных пожаров);

Размер сформированной выборки, а также результаты расчета доли площади, на которой соответствующая методика показывает лучшие результаты, и средневзвешенное значение корреляции между преобразованными значениями индексов пожарной опасности и частоты возникновения лесных пожаров приведены ниже (таблица 4.3).

Таблица 4.3 – Результаты сравнения методик расчета индексов пожарной опасности по значению корреляции между преобразованными значениями индексов и частоты возникновения лесных пожаров

Методика расчета	Количество пар значений в выборке	Доля площади Российской Федерации	Средневзвешенное (по площади), значение корреляции
ПВ-1	602 625	20,2	0,27
ПВ-2	612 822	21,6	0,21
ПВГ	595 078	16,7	0,27
методика В.Г. Нестерова	595 194	0.1	0,26

Полученные в ходе расчета результаты границы классов пожарной опасности в лесах по условиям погоды для разных регионов страны, в том числе с указанием сезонов пожароопасного периода, сведены в таблицу, фрагмент которой приведен ниже (таблица 4.4).

Как видно из представленных данных, несмотря на одинаковые процентные значения границ классов, их численные значения для разных лесных районов внутри регионов, а также для разных периодов пожароопасного сезона существенно отличаются. Это подтверждает гипотезу о необходимости отдельного расчета для указанных территорий и периодов.

Таблица 4.4 – Модифицированная классификация пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды по субъектам Российской Федерации в разрезе лесных районов (фрагмент)

Субъект Российской Федерации	Лесной район	Метод	Период сезона	Границы между классами						
				1 и 2	2 и 3	3 и 4	4 и 5			
Архангельская область	Район притундровых лесов и редкостойной тайги Европейско-Уральской части Российской Федерации	В.Г. Нестерова	весь сезон	300	1000	4000	10000			
				Северо-таежный район европейской части Российской Федерации	ПВ-1	весна-лето	1080	1870	2860	4330
	Двинско-Вычегодский таежный район	ПВ-1	весна-лето	630			1230	1580	2150	
						осень	480	830	1250	1890
			осень				470	900	1400	2380
				Вологодская область	весь регион	ПВ-1	весна-лето	300	730	1190
Калининградская область	весь регион	В.Г. Нестерова	весна					80	330	640
						лето-осень	510	1260	2630	3920
Ленинградская область	весь регион	В.Г. Нестерова	весна-лето				300	1010	1410	2700
						осень	430	960	1680	2490
			осень				150	490	1300	2050
				Мурманская область	весь регион	ПВ-1	весна	310	500	730
		лето	210					400	840	1230
									осень	200

Для оценки результатов апробации рассматриваемой методики была разработана специальная программа, которая оценивала количество пожаров, возникших в лесничествах, на основании сведений, поступающих в ФБУ "Авиалесоохрана" по данным оперативной отчетности 1-ЛЮ [92]. Результат расчета был визуализирован с помощью интерактивной панели, которая позволяла отобразить структуру распределения пожаров за выбранный год (2024 или 2025) или за выбранный округ, субъект Российской Федерации или лесничество (рисунок 4.9).

Как видно из гистограммы (рисунок 4.10), в 2025 году существенно больше пожаров возникало при первом классе (т.е. больше связанным с человеческим фактором, чем с погодой). Эта особенность отразилась в данных как по действующей методике, так и по новой методике. Поэтому не влияет на оценку качества нового алгоритма. Отличия в структуре распределения значений за 2024 и 2025 годы подтверждают тот факт, что на горимость влияет большое количество сложно контролируемых факторов, и для окончательной оценки нужен существенно больший период времени.

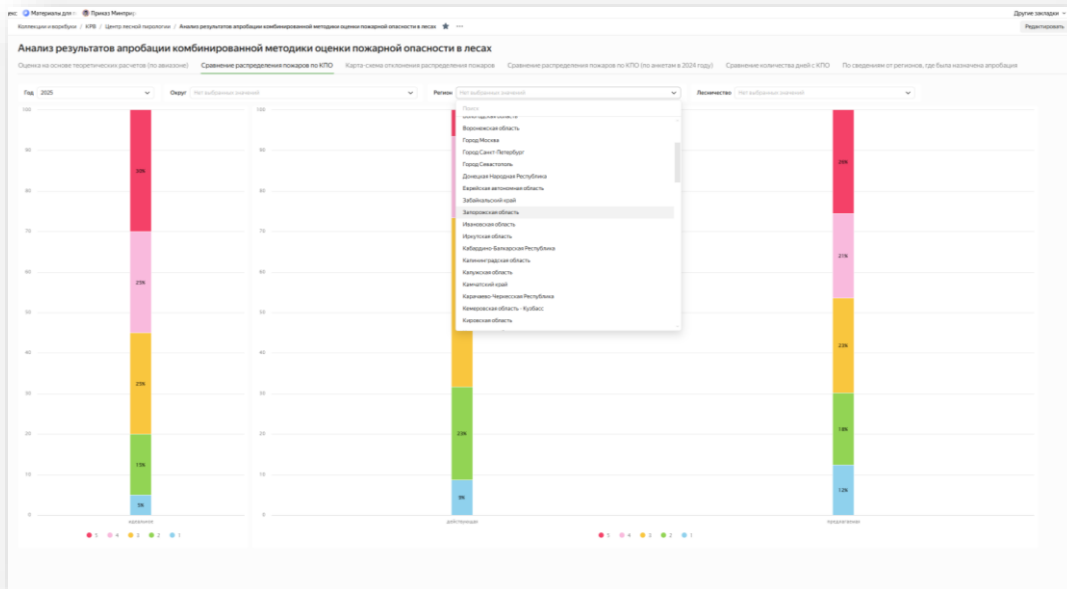


Рисунок 4.9 – Дашборд с результатами апробации методик классификации пожарной опасности в лесах, в зависимости от условий погоды

Сводные данные по России в целом приведены ниже (рисунок 4.10).

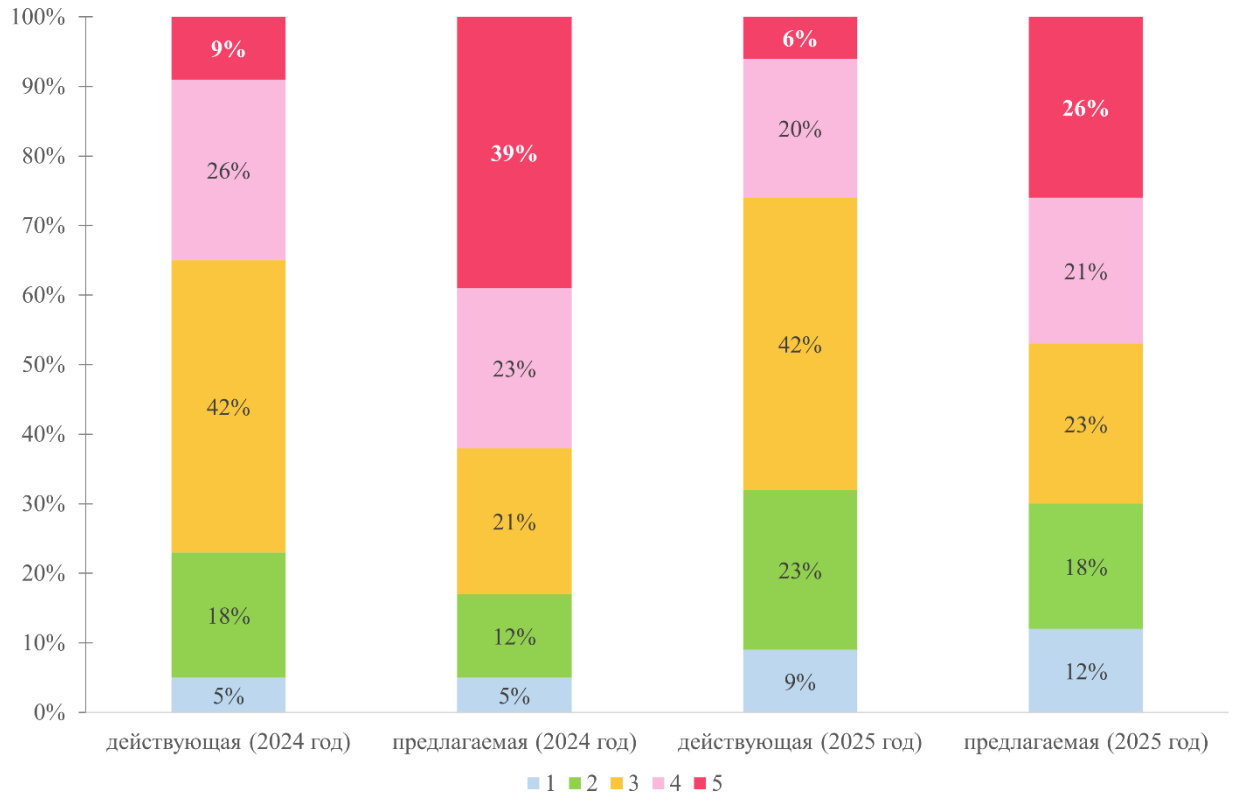


Рисунок 4.10 – Гистограмма распределения лесных пожаров по дням с заданным классом пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды

Визуальное сравнение гистограмм показывает, что распределение данных, полученных по обновленной методике, в целом ближе к теоретически рекомендованному распределению (5 %, 15 %, 25 %, 25 %, 30 % [242]).

Для численного сравнения методик предлагается использовать критерий согласия Пирсона ( 2 ).

$$\chi^2 = \sum_{n=1}^5 \left( \frac{(P_i - T_i)^2}{T_i} \right) \quad (2)$$

где  $\chi^2$  - критерий согласия Пирсона ("хи-квадрат");  
 $P_i$  – распределение пожаров для анализируемой методики (расчет ведется отдельно для действующей методики и для предлагаемой методики);  
 $T_i$  – теоретическое распределение значений ( $T_1=0,05$ ;  $T_2=0,15$ ;  $T_3=0,25$ ;  $T_4=0,25$ ;  $T_5=0,30$ ).

Результаты расчетов подтверждают, что новая методика обеспечивает лучшее соответствие к теоретическому распределению пожаров по классам пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды (таблица 4.5).

Таблица 4.5 – Результаты численной оценки отличия распределения пожаров в целом по стране, полученные по действующей и обновленной методике

Год	Действующая методика	Новая методика	Обновленная методика	Новая методика
	$\chi^2_1$	<i>p</i> -value	$\chi^2_2$	<i>p</i> -value
2024	2015,02	0,001	327,68	0,001
2025	2290,08	0,001	785,59	0,001

Полученное значение *p*-value подтверждает статистическую значимость результатов расчета.

Для сравнения методик на уровне лесничеств был проведен расчет разницы критериев для каждого лесничества ( $\chi^2_1 - \chi^2_2$ ). Результаты представлены на карте-схеме и интегрированы в интерактивную панель (рисунок 4.11).

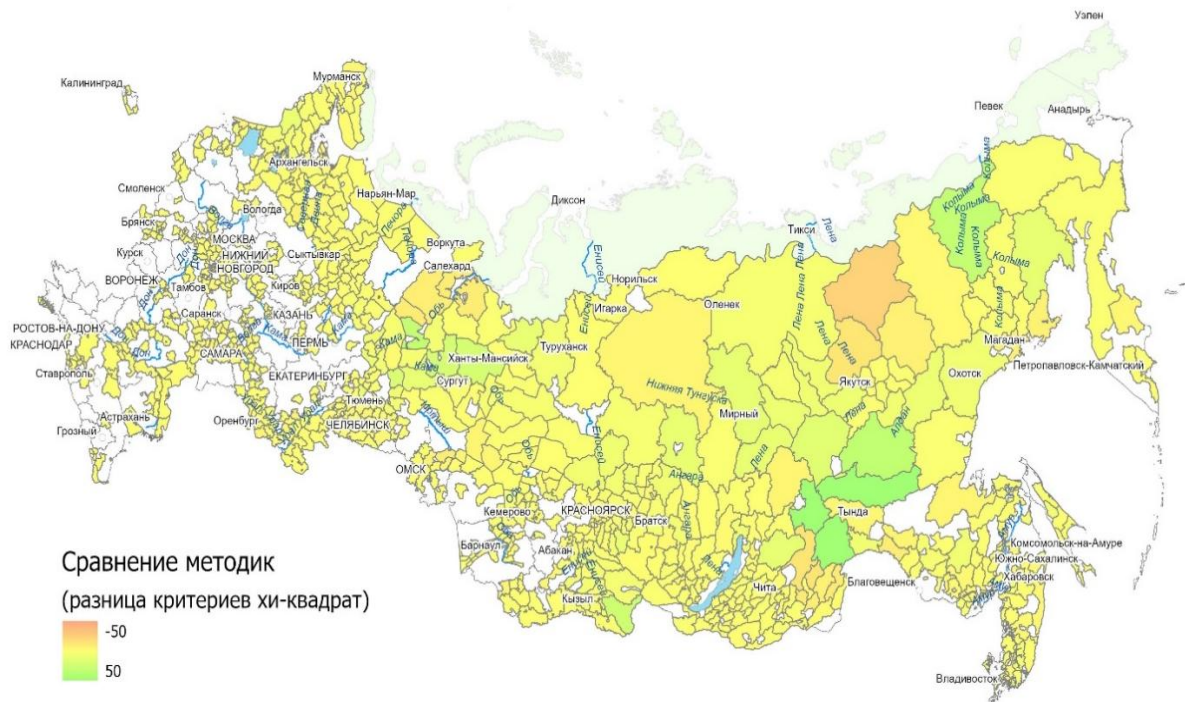


Рисунок 4.11 – Сравнение качества методик классификации пожарной опасности, в зависимости от условий погоды (действующей и предлагаемой), с точки зрения близости распределение пожаров по классам КПО на основе критерия  $\chi^2_1 - \chi^2_2$

Разработанная в рамках диссертационного исследования модифицированная методика принята Рослесхозом по результатам апробации и в настоящее время проект приказа Минприроды России "Об утверждении классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды" проходит согласительные процедуры.

#### **4.3 Эффективность применения предлагаемых региональных шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды**

Несмотря на наличие ряда работ, связанных с вопросами экономической оценки охраны лесов от пожаров [184], устоявшиеся подходы к оценке преимуществ от перехода на региональные шкалы отсутствуют. В этой связи нами был предложен соответствующий методический подход, который позволяет рассчитать затраты на внедрение новых предложений и оценить экономическую эффективность региональных шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды (экономический выигрыш от внедрения новых шкал) [243].

В общем виде экономический эффект от организации охраны лесов от пожаров определяется по конечному результату: минимизации вреда, причинённого пожарами лесам и объектам инфраструктуры, и затрат на реализацию соответствующих мер [56–58, 184]. Учитывая сложность достоверной оценки последствий лесных пожаров, а также невозможность достоверно оценить, какие именно факторы на их повлияли, предлагается взять за основу изменение затрат на организацию охраны. Применительно к рассматриваемому нами процессу введения региональных шкал пожарной опасности по условиям погоды предлагается рассматривать затраты на авиационный метод патрулирования лесов, который используется в качестве основного для 87 % активно охраняемой территории. Важной особенностью такого патрулирования является жесткая регламентация мероприятий, что позволяет достаточно адекватно определить затраты. В частности, количество ежедневных

вылетов для осмотра обслуживаемой территории определяется по классу пожарной опасности по условиям погоды [82]. Количество дней с соответствующим классом можно рассчитать по архивным метеоданным. Используя сведения об итоговых затратах на авиационное патрулирование, указанное в ведомственной отчетности (формы: 1-субвенция, а с 2022 года –15-ОИП), можно рассчитать изменение затрат на авиационное патрулирование, к которому может привести изменение шкалы пожарной опасности по условиям погоды.

Классические методики расчета региональных шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды, основаны на том, что границы классов устанавливаются в соответствии со статистическим количеством возникающих лесных пожаров в период с таким классом. Для оценки изменения затрат на тушение пожаров, будем исходить из того, что в случае, если начало соответствующего класса по вновь предлагаемой шкале начинается раньше, то это приводит к увеличению количества дней с таким классом и необходимости производить авиационное патрулирование с большей кратностью. То есть, по ранее действующей шкале патрулирование выполнялось реже и возникшие в этот период пожары обнаруживаются несвоевременно, что приводит к увеличению пройденной ими площади, увеличению ущерба лесам и затрат на их тушение.

Чтобы снизить влияние случайных факторов, расчет количества несвоевременно обнаруженных пожаров предполагается считать не в конкретный день, когда отличался класс пожарной опасности, а в среднем по количеству таких дней и по среднестатистическому количеству некрупных пожаров, которые возникали в дни с соответствующим классом.

Исходя из разницы между средними затратами на тушение крупного лесного пожара и средними затратами на тушение некрупного лесного пожара (по ведомственной отчетности в соответствующем регионе и соответствующем году), можно рассчитать ту часть затрат (от общей суммы за год), которая

предположительно сформировалась из-за несвоевременного обнаружения пожаров вследствие использования неоптимальной шкалы.

За основы приближенной оценки объема дополнительного финансирования, необходимого для внедрения новых региональных шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды, взята формула расчета объема мероприятий по авиационному патрулированию с целью мониторинга пожарной опасности в лесах и лесных пожаров (количество летных часов) ( 3 ) из "Правил определения общего объема субвенций для осуществления полномочий в области лесных отношений" [244].

$$N_{\text{авиа м.}} = (Kл_2 \times T_{\text{кр}2} + Kл_3 \times T_{\text{кр}3} + Kл_4 \times T_{\text{кр}4} + Kл_5 \times T_{\text{кр}5}) \times \left( \frac{M}{C_{\text{п}}} \right) \quad (3)$$

где  $N_{\text{авиа м.}}$  – объем мероприятий по авиационному патрулированию пожарной опасности в лесах и лесных пожаров (количество летных часов);

$Kл_2$  – среднее количество дней в течение пожароопасного сезона за последние 5 лет, предшествующих текущему финансовому году, соответствующее 2-му классу пожарной опасности в лесах;

$T_{\text{кр}2}$  – кратность авиационного патрулирования лесов, соответствующая 2-му классу пожарной опасности в лесах, – один раз в 2 суток;

$Kл_3$  – среднее количество дней в течение пожароопасного сезона за последние 5 лет, предшествующих текущему финансовому году, соответствующее 3-му классу пожарной опасности в лесах;

$T_{\text{кр}3}$  – кратность авиационного патрулирования лесов, соответствующая 3-му классу пожарной опасности в лесах, – один раз в сутки;

$Kл_4$  – среднее количество дней в течение пожароопасного сезона за последние 5 лет, предшествующих текущему финансовому году, соответствующее 4-му классу пожарной опасности в лесах;

$T_{\text{кр}4}$  – кратность авиационного патрулирования лесов, соответствующая 4-му классу пожарной опасности в лесах, – 2 раза в сутки;

$Kл_5$  – среднее количество дней в течение пожароопасного сезона за последние 5 лет, предшествующих текущему финансовому году, соответствующее 5-му классу пожарной опасности в лесах;

$T_{кр5}$  – кратность авиационного патрулирования лесов, соответствующая 5-му классу пожарной опасности в лесах, – 2 раза в сутки;

$M$  – средняя протяженность маршрута авиационного патрулирования лесов за последние 5 лет, предшествующих текущему финансовому году (километров);

$C_{п}$  – крейсерская скорость, установленная для транспортных полетов согласно руководствам по летной эксплуатации конкретного типа воздушного судна, не менее 180 (километров в час).

Используя сведения об общем объеме финансирования на выполнение авиационного патрулирования лесов из ведомственной отчетности за 5 лет (с поправкой на индекс потребительских цен), рассчитаем объем дополнительных средств, который теоретически мог бы потребоваться в прошлые годы, если назначение полетов выполнялось бы по классу пожарной опасности, рассчитанному по скорректированной шкале. Для целей оценки объемов дополнительного финансирования будем исходить из того, что величина  $\left(\frac{M}{C_{п}}\right)$ , которая характеризует время на осмотр всей территории, остается неизменной. Таким образом, исходя из формулы (4), скорректированный ежегодный объем финансирования увеличится на столько же, на сколько увеличится количество необходимых вылетов:

$$Z'_{\text{авиа м.}} = \frac{Kл'_2 \times T_{кр2} + Kл'_3 \times T_{кр3} + Kл'_4 \times T_{кр4} + Kл'_4 \times T_{кр4} + Kл'_5 \times T_{кр5}}{Kл_2 \times T_{кр2} + Kл_3 \times T_{кр3} + Kл_4 \times T_{кр4} + Kл_4 \times T_{кр4} + Kл_5 \times T_{кр5}} \times Z_{\text{авиа м.}} \quad (4)$$

где  $Z'_{\text{авиа м.}}$  – расчетный объем средств, который теоретически могли бы потребоваться на авиационное патрулирование лесов, в случае если планирование осуществлялось бы по региональным шкалам пожарной опасности;

$Z_{\text{авиа м.}}$  – фактический объем средств на авиационное патрулирование лесов по ведомственной статистической отчетности;

$Kл_i$  – среднее количество дней в течение пожароопасного сезона за анализируемый год, предшествующих текущему финансовому году, соответствующее  $i$ -му классу пожарной опасности в лесах,

рассчитанному по действующей методике;

$i$  – номер класса пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды;

$Kл'_i$  – среднее количество дней в течение пожароопасного сезона за анализируемый год, предшествующих текущему финансовому году, соответствующее  $i$ -му классу пожарной опасности в лесах, рассчитанному по предлагаемой методике;

$T_{кр_i}$  – кратность авиационного патрулирования лесов, соответствующая  $i$ -му классу пожарной опасности в лесах ( $T_{кр_1}=0$ ;  $T_{кр_2}=0.5$ ;  $T_{кр_3}=1$ ;  $T_{кр_4} = T_{кр_5}=2$ ).

Общий объем финансирования, необходимого для внедрения новых региональных шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды можно определить по формуле ( 5 ):

$$\Delta F = \frac{\sum_i^5 ((Z'_{\text{авиа м. } i} - Z_{\text{авиа м. } i}) \times K_{\text{инф } i})}{5}, \quad (5)$$

где  $\Delta F$  – приблизительный объем дополнительного финансирования, необходимого для внедрения региональных шкал пожарной опасности в лесах;

$i$  – номер года (для расчетов использовался период с 2018 по 2022 годы);

$Z'_{\text{авиа м.}}$  – расчетный объем средств, который теоретически могли бы потребоваться на авиационное патрулирование лесов, в случае если планирование осуществлялось бы по региональным шкалам пожарной опасности для выбранного года, тыс. рублей;

$Z_{\text{авиа м.}}$  – фактический объем средств на авиационное патрулирование лесов по ведомственной статистической отчетности за выбранный год;

$K_{\text{инф}}$  – коэффициент, учитывающий инфляцию.

Для расчета затрат на тушение несвоевременно обнаруженных лесных пожаров, которых можно было бы избежать, примем допущение, что затраты на тушение всех крупных пожаров в регионе соотносятся с затратами на тушение всех некрупных пожаров так же, как соотносятся площади таких пожаров ( 6 ):

$$z_{кр} = \frac{S_{кр}}{S} \times Z \times \frac{1}{n_{кр}}, \quad (6)$$

где  $Z_{кр}$  – затраты на тушение одного крупного лесного пожаров;  $Z$  – затраты на тушение в целом по региону (в год);  
 $S$  – площадь, пройденная огнем (всего);  
 $S$  – площадь, пройденная огнем при крупных лесных пожарах;  
 $n_{кр}$  – количество крупных лесных пожаров.

$$z_M = \frac{S_M}{S} \times Z \times \frac{1}{n_M}, \quad (7)$$

где  $Z_M$  – затраты на тушение одного некрупного лесного пожаров;  $Z$  – затраты на тушение в целом по региону (в год);  
 $S$  – площадь, пройденная огнем (всего);  
 $S$  – площадь, пройденная огнем при крупных лесных пожарах;  
 $n_M$  – количество некрупных лесных пожаров.

Изменение количества дней соответствует изменению количества вылетов. Если условно принять, что пожары на одной территории при одних погодных условиях возникают в равном соотношении и крупные и некрупные, то количество обнаруженных пожаров тоже изменится на эту же величину. Так как распределение пожаров при каждом классе задано исходя из методики выделения границ классов (5 %, 15 %, 25 %, 25 %, 30 %), можно рассчитать количество пожаров, которые обнаружены не своевременно и, соответственно, переходят в категорию крупных (8):

$$\Delta Z = \sum_{b=2}^5 \left( \sum_{a=1}^{b-1} \frac{n_m \times p_b}{K_{лb}} \times \Delta K_{ab} \times \Delta T_{ab} \right) \times (Z_{кр} - z_M) \times K_{инф}, \quad (8)$$

где  $\Delta Z$  – часть затрат на тушение, которая связана с несвоевременно обнаруженными лесными пожарами (относительно новой шкалы), млн рублей;  
 $\frac{n_m \times p_b}{K_{лb}}$  – количество не крупных пожаров, которые возникают при  $b$  – классе пожарной опасности;  
 $n_m$  – количество некрупных пожаров всего в течение сезона;  $K_{лb}$  – количество дней с классом  $b$  классом;

$\Delta K_{ab}$  - количество дней, в которые по старой шкале был класс "a", а по новой стал "b";

$\Delta T_{ab}$  – изменение кратности патрулирования, в частности, если класс в конкретный день изменился с 1 на 2, то  $\Delta T_{12} = 0.5 - 0 = 0.5$ .

Соответственно:  $\Delta T_{13} = 1$ ;  $\Delta T_{14} = 2$ ;  $\Delta T_{15} = 2$ ;  $\Delta T_{23} = 0.5$ ;

$\Delta T_{24} = 1.5$ ;  $\Delta T_{25} = 1.5$ ;  $\Delta T_{34} = 1$ ;  $\Delta T_{35} = 1$ .  $z_{кр}$  – затраты на тушение одного крупного лесного пожара;

$z_m$  – затраты на тушение одного крупного лесного пожара;

$K_{инф}$  – коэффициент, учитывающий инфляцию.

Указанные выше расчеты целесообразно выполнять для каждого года, за последние 5 лет (2018 – 2022 годы) с последующим усреднением результата. Большой временной интервал может привести к большой погрешности, связанной с экономической составляющей расчетов.

Исходные метеоданные для расчетов брались из архивов ИСДМ-Рослесхоз. Значения классов пожарной опасности по условиям погоды, изначально рассчитанные в разрезе метеостанций, пересчитывались на площадь зоны авиационного мониторинга для того, чтобы получить средневзвешенное значение по площади. Количество лесных пожаров, а также деление их на крупные и не крупные, рассчитывались по данным региональных диспетчерских служб.

Для выполнения расчетов были разработаны набор программных скриптов на языке PostgreSQL.

С использованием выше методики была проведена оценка финансовых последствий перехода на новую классификацию, результаты которой приведены в таблица 4.6.

Полученные расчеты показывают, что объем дополнительных средств, необходимых для авиационного патрулирования лесов составит в среднем 1,4 млрд рублей. При этом сумма затрат на тушения лесных пожаров, которые перешли в категорию крупных предположительно из-за устаревших границ классов

пожарной опасности по условиям погоды (т.е. затрат, которых можно было бы избежать), составила 1.5 млрд рублей.

Таблица 4.6 – Результаты расчета экономической эффективности региональных шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды

Год	Дополнительные затраты на авиационное патрулирование лесов, млн рублей	Среднее количество случаев, когда класс пожарной опасности по условиям погоды изменился	Условно пропущенных (из-за устаревших шкал) лесных пожаров	Затраты на тушение несвоевременно обнаруженных лесных пожаров, которые потенциально можно экономить, млн рублей
2018	1 435,8	7647	5963	4 564,1
2019	1 366,1	5918	3761	450,6
2020	1467,4	4633	2834	1 352,5
2021	1537,9	2793	1484	1 129
2022	1320,0	498	295	62,6
Среднее значение	1425,44	4297,8	2867,4	1 511,76

*Примечание:* расчет выполнялся на примере зоны авиационного мониторинга всех субъектов Российской Федерации.

Таким образом, переход на новую классификацию является экономически целесообразным, так как он даже по самым консервативным оценкам, не приведет к увеличению затрат на охрану лесов от пожаров. Следует учитывать, что в рассматриваемой методике заложена только минимальная оценка, а положительный эффект за счет своевременного обнаружения пожаров будет значительно выше. Важным преимуществом предложенного подхода является то, что оценка произведена не на основе экспертного мнения отдельных специалистов, а на основании прозрачного алгоритма. Следующим шагом в данном направлении может быть утверждение методики на уровне национального стандарта, что может служить основанием для внедрения её в аналитической подсистеме Федеральной государственной информационной системе лесного комплекса (ФГИС ЛК).

### **Выводы по главе**

1. В отечественной системе оценки пожарной опасности лесов важнейшая роль принадлежит классификации пожарной опасности в зависимости от условий погоды, которая позволяет через адекватную оценку ежедневной динамики лесопожарной ситуации, регламентировать значительную часть мероприятий, выполняемых лесопожарными формированиями, осуществлять оптимизацию финансовых затрат на охрану лесов от пожаров, включая авиационное патрулирование лесов. Для этих целей используются методики В.Г. Нестерова, ПВ-1 и ПВ-2, расчет значений которых в настоящее время автоматизирован средствами ИСДМ-Рослесхоз, а также, в редких случаях, шкала ПВГ.

2. В связи с различиями в методических подходах (в частности, к учету осадков), природно-климатических условий территорий и разной плотности метеостанций в регионах, рассчитанные по указанным методикам значения индексов существенно отличаются. В связи с этим актуальной задачей является совершенствование региональных подходов к оценке пожарной опасности в лесах по условиям погоды с учетом адекватности используемых методик реальным рискам возникновения лесных пожаров.

3. Установлено, что для 30 % лесов в России лучший результат по корреляции с пожарами в регионах с низкой плотностью сети метеостанций показала методика ПВГ. На методику ПВ-2 приходится 26 % территории, на ПВ-1 – 20 %. Применение методики В.Г. Нестерова (13 % территории) более приемлемо в условиях европейской части страны, для которых она была разработана. Для 11 % случаев, из-за незначимости результатов расчета, сделать вывод о выборе предпочтительной методики расчета индексов пожарной опасности по условиям погоды не представляется возможным.

4. С учетом позиции Рослесхоза о возможности замены утвержденной методики только в случае надежных результатов оценки, рекомендовано на 41 % площади лесного фонда сохранить алгоритм расчета индекса по В.Г. Нестерова (с учетом использования температуры и точки росы за предыдущий день).

5. Подтверждена целесообразность разработки отдельных (региональных) шкал пожарной опасности по условиям погоды.

6. Впервые разработана модифицированная методика расчета региональных шкал пожарной опасности в лесах, в зависимости от условий погоды. Расчет выполняется по формулам, результаты которых дают более высокую корреляцию с частотой возникающих пожаров отдельно по периодам пожароопасного сезона с использованием значений температуры и точки росы по вчерашнему дневному измерению (в совокупности с актуальными данными об осадках: день/ночь). Сравнение данных расчетов, полученных по методикам В.Г. Нестерова и ПВГ, с предложенным модифицированным подходом показало незначительные расхождения (не более 6 %), что позволяет рекомендовать его для более релевантной оценки уровня пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды и практического использования.

7. Научно обоснованы границы классов пожарной опасности в лесах по условиям погоды для разных регионов страны, в том числе с учетом сезонов пожароопасного периода. Доказано, что переход на предлагаемую модифицированную методику расчета региональных шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды экономически целесообразен, так как за счет своевременного обнаружения снизится объем затрат на тушение крупных лесных пожаров.

## **ГЛАВА 5. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРООПАСНЫХ СЕЗОНОВ В ЛЕСАХ И ОБОСНОВАНИЕ КРАТКОСРОЧНОГО ПРОГНОЗА ВОЗНИКНОВЕНИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ**

### **5.1 Методы оценки основных параметров пожароопасных сезонов в лесах**

Ход пожароопасного сезона определяется погодными условиями и существенно влияет на уровень горимости лесов. Для решения различных организационных задач стратегического планирования охраны лесов от пожаров (например, планирование сроков проведения тренировок авиапожарных формирований, заключения договоров на привлечение воздушных судов) важно иметь прогноз основных параметров предстоящего пожароопасного сезона. К таким параметрам относятся сроки начала и завершения сезона, его продолжительность, а также напряженность (доля дней с повышенным классом пожарной опасности в лесах по условиям погоды).

Экспертный анализ показывает, что из-за большого количества сложно контролируемых факторов колебание фактических значений параметров пожароопасного сезона происходит почти хаотично, что приводит к тому, что точность прогнозов не превышает среднемноголетнее значение. Таким образом, общепризнанным методом прогнозирования в подобных случаях становится "наивный" прогноз, когда в качестве предсказываемых значений указывается среднее значение. Вместе с тем, даже такой прогноз на практике ранее не формировался из-за сложности получения требуемого набора исходных метеоданных. Кроме того, сами данные обычно хранятся в разрезе метеостанций и для корректного пересчета на территорию конкретного лесничества требуется использование весовых коэффициентов. Это касается, в том числе и оценки даты

начала пожароопасного сезона для лесничеств, территорию которых обслуживают несколько метеостанций.

В связи с этим рассматривая в качестве цели необходимость разработки метода формирования прогноза основных параметров пожароопасного сезона, нами выделены следующие основные задачи: сформировать выборку исходных данных; выбрать метод прогнозирования; выбрать метод оценки точности прогноза; написать программное обеспечение для автоматизации расчета и сформировать интерактивную панель для визуализации результатов расчета.

Отработка метода прогнозирования проводилась на примере формирования прогноза на 2024 год.

В качестве источника метеоданных использовались архивы, формируемые в ИСДМ-Рослесхоз. Несмотря на то, что данные туда начали поступать с 2004 года (по 328 метеостанциям), наиболее полный набор начал формироваться с 2007 года (по 2049 метеостанциям, в том числе по 1282 – прямые измерения, а по остальным – данные, восстановленные методами интерполяции). Метеоинформация в систему поступала несколько раз в сутки. При этом количество метеостанций каждый год немного менялось и к 2024 году составило 2100 станций, в том числе, – 1401 с прямыми наблюдениями). Для того, чтобы перейти от точечного расчета по метеостанциям к расчету территории лесов в границах лесничеств и в границах субъектов Российской Федерации, нами разработано специальное программное обеспечение на процедурном языке `plpgsql`. Размер полученной выборки в разрезе лесничеств составил 33915 записей за 19 лет (2007-2024 года), а в разрезе субъектов Российской Федерации – 1691 запись (за тот же период). Каждая запись содержала информацию о дате начала пожароопасного сезона, дате его завершения, продолжительности и напряженности (в данном случае использовался только метод расчета по индексу пожарной опасности, основанному на классической шкале Нестерова).

Краткий алгоритм, описывающий особенности выбранного подхода исследований, состоит в следующем:

- исходные данные разбивались на несколько выборок, каждая из которых содержит данные за 11 лет (средний период повторяемости пиков горимости, более детально, см. раздел 3.3);

- учитывая, что данные в выборке распределены не по закону нормального распределения, а по закону, близкому к логнормальному, для исключения влияния случайных выбросов в данных была проведена фильтрация с использованием метода на основе функции "medkcloud" [223];

- для каждой выборки данных и для каждого лесничества и региона проводился отдельный расчет с использованием методов прогнозирования временных рядов (NaiveForecaster, AutoETS, AutoARIMA, BATS, MLP);

- для полученного прогноза (2017 – 2024 годы) выполнялся расчет среднеквадратической ошибки;

- для каждого лесничества выбирался один метод, у которого среднее значение среднеквадратической ошибки за все годы минимально;

- расчет прогнозного значения на очередной год (в частности, по данным 2014 – 2024 на 2025 год) проводился с использованием лучшего (для каждого лесничества) метода.

Для того, чтобы обеспечить оценку точности полученных результатов, а также возможность выбора лучшей методики, весь объем исходных данных был разбит на несколько подвыборок за период в 11 лет: 2007 – 2017; 2008 – 2018; 2009 – 2019; 2010 – 2020; 2011 – 2021; 2012 – 2022; 2013 – 2023; 2014 – 2024 годы.

В ходе изучения литературных источников на предмет возможности применения различных машинных методов прогнозирования выяснилось, что не существует одного универсального метода и его выбор определяется спецификой данных. В связи с этим была выбрана стратегия, в рамках которой расчет проводился по всем выборкам сразу несколькими методами (NaiveForecaster

[245], AutoETS [245], AutoARIMA [246], BATS [247], MLP [248]), а выбор наилучшего метода (отдельно по каждому лесничеству) осуществлялся в пользу того метода, как и предусматривалось, который позволял получить наименьшую среднеквадратическую ошибку.

Алгоритм расчета каждого метода (за исключением MLP) предусматривает расчет доверительного интервала. Для MLP (нейросеть, состоящая из множества слоёв перцептронов) была написана отдельная программная процедура расчета доверительного интервала с использованием метода "Бутстрап". Этот метод предполагает создание множества случайных выборок из исходного набора данных и вычисление по каждой выборке интересующей статистики (в данном случае – среднего значения) для оценки доверительного интервала.

Ранее считалось, что такой прогноз не имеет смысла, так как точность прогноза сопоставима с обычным средним значением или даже хуже. Для проведения оценки результата с точки зрения целесообразности использования выбранного метода был разработан специальный показатель "результативности". Данный показатель характеризует то, насколько выбранная метрика (в данном случае предлагается использовать относительную ошибку) близка к идеальному значению (9). При этом за точку отчета ("0") целесообразно взять так называемый "наивный" прогноз, основанный на простом среднем.

$$rp = 1 - \frac{MRE}{MREn} \quad (9)$$

где  $rp$  – результативность прогноза;  
 $MREn$  – относительная ошибка среднемноголетних значений;  
 $MRE$  – относительная ошибка прогноза.

Для автоматизации расчетов был разработан программный комплекс на языке Python, который использует специализированные библиотеки программ для машинного анализа данных с открытым исходным кодом sklearn и sktime. Специфика выбранных библиотек позволила реализовать автоматизированный подбор параметров моделей, а также расчет доверительного интервала. При этом

оценка точности проводилась методом кроссвалидации на фактических данных путем расчета следующих метрик: 1) абсолютная ошибка; 2) среднеквадратическая ошибка; 3) относительная ошибка; 4) результативность прогноза.

Для визуализации результатов расчета по каждой выборке и по каждому методу был сформирован дашборд (интерактивная панель, см. рисунок 5.1).

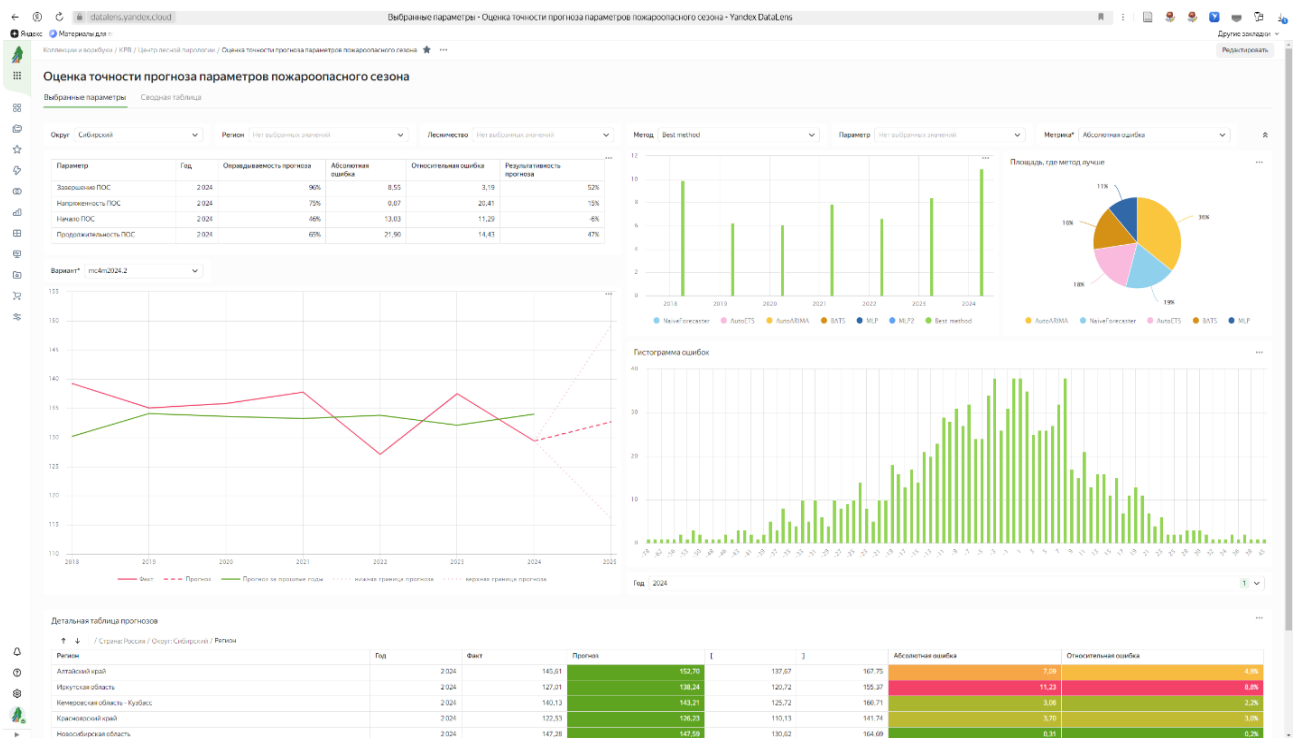


Рисунок 5.1 – Дашборд для визуализации расчетов точности прогноза параметров пожароопасного сезона (в качестве примера)

Данный дашборд позволяет оценить и долю случаев (в общем количестве лесничеств), когда выбранная методика показывает большую достоверность прогноза. Оценка достоверности проводится на основе критерия квадратичной ошибки, рассчитанной на основе ретроспективных данных.

Соотношение методик, выбранных в качестве лучших по минимальности среднеквадратической ошибки, в общем количестве лесничеств показано на рисунке ниже (рисунок 5.2).

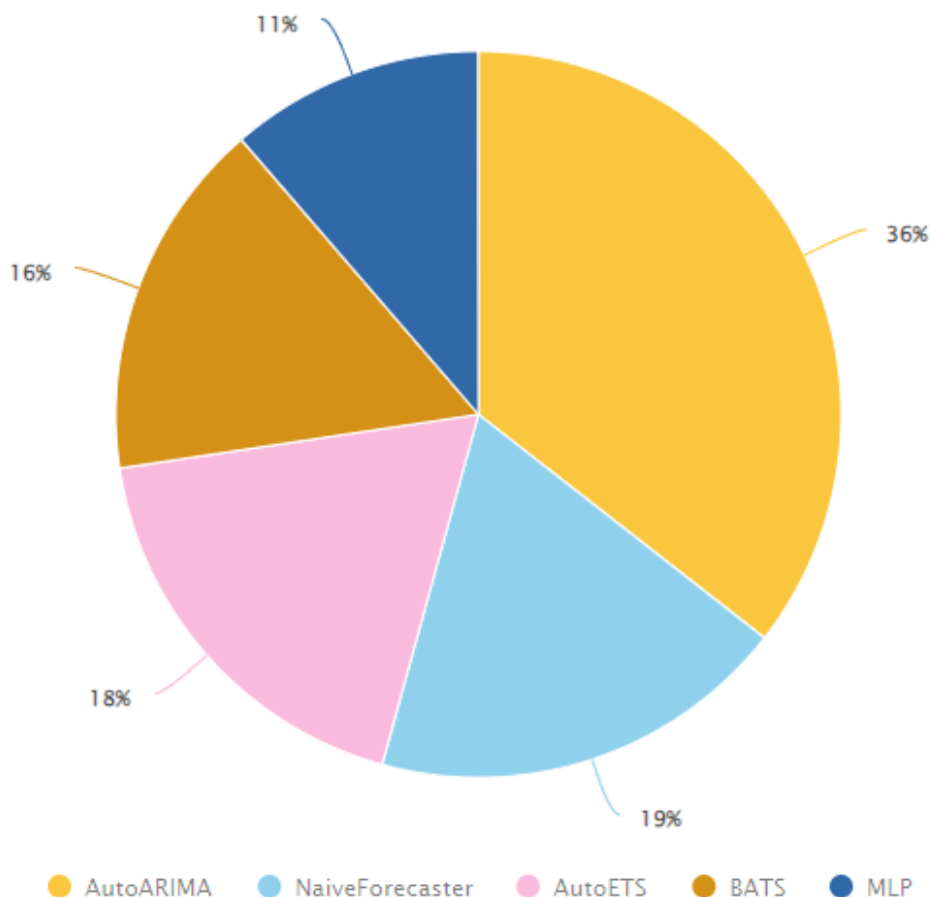


Рисунок 5.2 – Соотношение методик, выбранных в качестве лучших по минимальности среднеквадратической ошибки, в общем количестве лесничеств (в процентах)

Как видно из рисунка, для большинства лесничеств лучший результат показал метод машинного обучения AutoARIMA (36 %). Вместе с тем это не свидетельствует в пользу того, что во всех случаях следует использовать только его, поскольку выбор метода определяется особенностью исходных данных (совокупной спецификой лесорастительных, природно-климатических и социально-экономических факторов).

Сводные значения основных метрик, характеризующих точность полученных результатов, приведены в таблице ниже (таблица 5.1 – таблица 5.2).

Таблица 5.1 – Оценка точности прогноза параметров пожароопасного сезона, в среднем, в разрезе лесничеств

Год	Оправдываемость прогноза, %	Средняя абсолютная ошибка (для напряженности в %, в остальных случаях в днях)	Средняя относительная ошибка, %	Результативность прогноза, безразмерная величина
Начало пожароопасного сезона				
2018	94,9	6,1	5,0	0,02
2019	97,0	5,0	4,2	0,14
2020	67,0	8,8	8,7	0,12
2021	88,0	6,6	6,1	0,22
2022	92,8	7,3	6,6	0,06
2023	73,9	8,6	7,7	0,17
2024	68,4	11,6	9,2	0,13
<b>Средняя</b>	<b>83,1</b>	<b>7,7</b>	<b>6,8</b>	<b>0,12</b>
Завершение пожароопасного сезона				
2018	85,2	12,3	4,4	0,21
2019	67,7	8,5	3,0	0,17
2020	81,7	9,8	3,6	0,12
2021	81,0	11,2	4,1	0,02
2022	92,9	12,1	5,0	0,18
2023	87,7	9,1	3,3	0,41
2024	88,0	8,5	3,3	0,28
<b>Средняя</b>	<b>83,5</b>	<b>10,2</b>	<b>3,8</b>	<b>0,20</b>
Продолжительность пожароопасного сезона				
2018	93,8	11,5	8,6	0,27
2019	78,8	11,6	8,9	0,05
2020	64,7	13,8	9,1	0,13
2021	83,4	13,8	9,9	0,12
2022	93,5	13,1	10,9	0,17
2023	87,5	12,0	11,3	0,39
2024	79,5	17,6	15,9	0,12
<b>Средняя</b>	<b>83,0</b>	<b>13,3</b>	<b>10,7</b>	<b>0,18</b>
Напряженность пожароопасного сезона				
2018	66,5	7,5	28,6	-0,05
2019	92,4	6,0	20,2	0,22
2020	89,7	5,7	17,4	0,21
2021	75,4	6,7	23,7	0,10
2022	84,6	6,5	22,0	0,19
2023	76,1	7,9	19,1	0,15
2024	80,0	6,7	17,9	0,18
<b>Средняя</b>	<b>80,7</b>	<b>6,7</b>	<b>21,3</b>	<b>0,14</b>

Как видно из таблицы (таблица 5.1), оправдываемость прогноза с учетом рассчитанного доверительного интервала по лесничествам составляет 80 – 83 %. Средняя абсолютная ошибка определения даты начала пожароопасного сезона составляет  $\pm 8$  дней, а относительная – 7 %. Аналогичное значение для даты завершения  $\pm 10$  дней (4 %). Для продолжительности пожароопасного сезона абсолютная ошибка  $\pm 13$  дней (11 %). Прогноз напряженности пожароопасного сезона в разрезе лесничеств выполняется с абсолютной ошибкой  $\pm 7$  % (в единицах измерения напряженности) и относительной ошибкой 21 %.

Таблица 5.2 – Оценка точности прогноза параметров пожароопасного сезона, в среднем, в разрезе субъектов Российской Федерации.

Год	Оправдываемость прогноза, %	Средняя абсолютная ошибка (для напряженности в %, в остальных случаях в днях)	Средняя относительная ошибка, %	Результативность прогноза, безразмерная величина
Начало пожароопасного сезона				
2018	95,5	3,8	3,1	-0,03
2019	98,9	3,8	3,2	0,09
2020	66,3	6,2	5,6	0,11
2021	94,4	5,7	4,9	0,20
2022	97,8	5,5	4,7	0
2023	84,3	6,4	5,2	0,12
2024	65,2	10,8	8,3	0,13
<b>Средняя</b>	<b>86,1</b>	<b>6,0</b>	<b>5,0</b>	<b>0,09</b>
Завершение пожароопасного сезона				
2018	86,5	12,5	4,5	0,17
2019	57,3	5,6	2,0	0,23
2020	78,7	7,8	2,8	-0,04
2021	77,5	10,4	3,8	-0,19
2022	97,8	11,1	4,5	0,20
2023	93,3	6,9	2,5	0,53
2024	91,0	8,2	3,2	0,29
<b>Средняя</b>	<b>83,2</b>	<b>8,9</b>	<b>3,3</b>	<b>0,17</b>
Продолжительность пожароопасного сезона				
2018	100,0	10,5	7,1	0,28

Год	Оправдываемость прогноза, %	Средняя абсолютная ошибка (для напряженности в %, в остальных случаях в днях)	Средняя относительная ошибка, %	Результативность прогноза, безразмерная величина
2019	71,9	8,7	6,3	-0,15
2020	55,1	9,5	6,1	0,09
2021	80,9	10,0	6,6	0,12
2022	95,5	10,7	8,7	0,22
2023	88,8	11,2	7,9	0,17
2024	82,0	16,8	14,1	0,17
<b>Средняя</b>	<b>82,0</b>	<b>11,1</b>	<b>8,1</b>	<b>0,13</b>
Напряженность пожароопасного сезона				
2018	49,4	5,4	14,4	0,24
2019	93,3	5,6	17,4	0,04
2020	88,8	2,6	8,3	0,33
2021	66,3	5,2	15,9	0,10
2022	85,4	5,3	16,0	0,05
2023	75,3	7,3	16,7	0,14
2024	78,7	5,0	13,1	0,19
<b>Средняя</b>	<b>76,7</b>	<b>5,2</b>	<b>14,5</b>	<b>0,16</b>

Данные (таблица 5.2) показывают, что оправдываемость прогноза на уровне субъекта Российской Федерации в целом сопоставима с предыдущими результатами (82 – 83 %), за исключением напряженности пожароопасного сезона, где этот показатель существенно ниже (77 %). Средняя абсолютная ошибка определения даты начала пожароопасного сезона составляет  $\pm 6$  дней, а относительная 5 %. Аналогичное значение для даты завершения –  $\pm 9$  дней (относительная ошибка – 3 %). Для продолжительности пожароопасного сезона абсолютная ошибка  $\pm 11$  дней (8 %). Прогноз напряженности пожароопасного сезона (которая измеряется в процентах) выполняется с абсолютной ошибкой  $\pm 5$  % и относительной ошибкой 15 % (в данном случае процент показывает величину относительного отклонения).

В рамках имеющегося набора исходных данных выбор уровня агрегирования исходных данных не очевиден, так как результаты в целом сопоставимы. Показатель результативности (12 – 20 %) демонстрирует, что данный прогноз лучше, чем использование обычного среднесезонного значения. Полученная точность достаточна для использования результатов прогноза в качестве дополнительного источника информации на этапе подготовки к пожароопасному сезону.

Указанный выше дашборд (рисунок 5.1) содержит много технической информации, включая гистограммы распределения ошибок, графики динамики точности по каждому методу (в том числе невыбранному для итогового прогнозирования) и другую инфографику, необходимую на этапе исследования. Для конечного пользователя информационного продукта разработана другая интерактивная панель (рисунок 5.3, приложение Б).

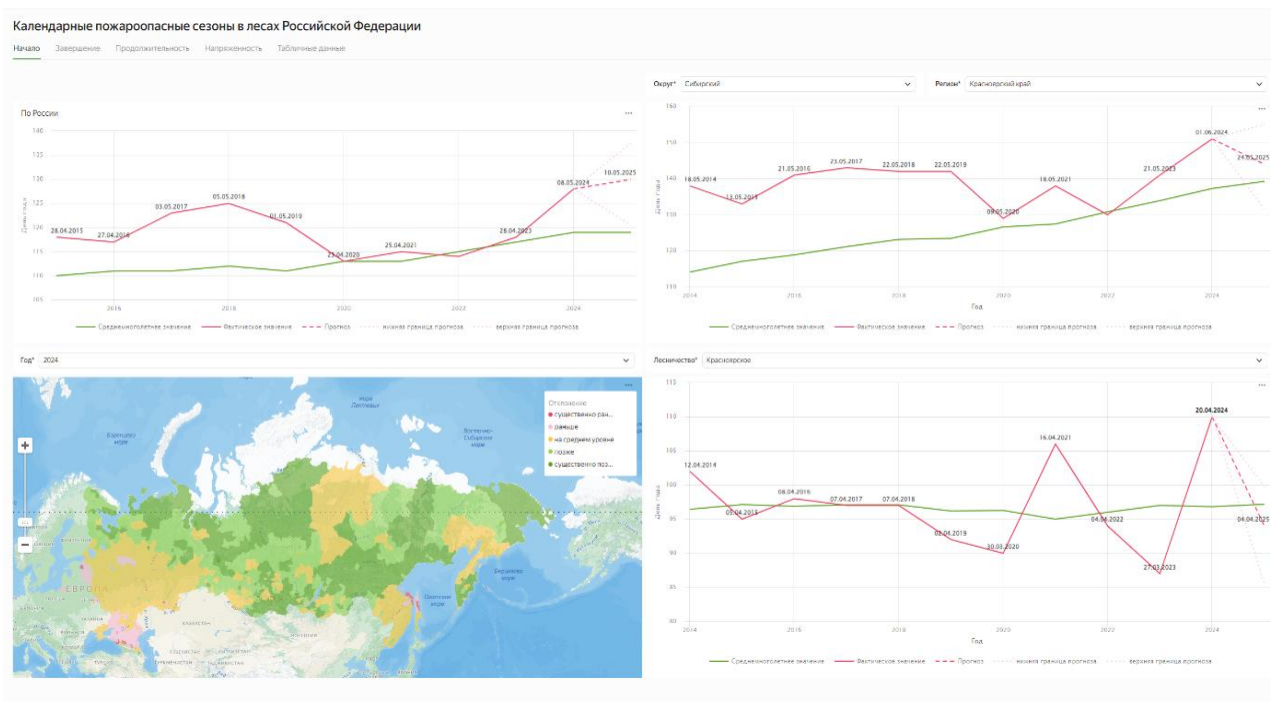


Рисунок 5.3 – Главная вкладка дашборда для визуализации основных параметров пожароопасных сезонов (включая прогнозные значения на предстоящий год).

Оценка отклонения параметров от среднеголетних значений в градации "ниже нормы", "на уровне нормы" и "выше нормы", также является самостоятельным важным результатом, который может быть использован как один из факторов при оценке эффективности деятельности лесопожарных формирований. При расчете границ "нормы" использовались сведения о стандартном отклонении значений в выборке, прошедшей обработку на предмет выявления аномальных выбросов, что позволило с учетом формы распределения получить интервал нормы, соответствующий в среднем 68 % случаев.

Пример картографического представления результатов прогнозирования основных параметров пожароопасного сезона 2023 года, а также карты, визуализирующие оправдываемость этих прогнозов, приведены в приложении В.

## **5.2 Краткосрочное прогнозирование возникновения лесных пожаров**

Для повышения эффективности планирования организации работ по охране лесов от пожаров огромное значение имеет прогноз вероятности их возникновения. Как было сказано в разделе 1.4, несмотря на популярность этого направления среди исследователей, существует ряд фундаментальных ограничений, которые не позволяют достигнуть нужной точности прогнозирования, что приводит к тому, что на практике прогнозы практически не используются.

На данном этапе развития спрогнозировать конкретные места возникновения лесных пожаров все еще нереально, но получить, используя накопление большого объема данных, а также развитие информационных технологий, усредненную оценку для относительно больших территорий с достаточной для практического использования точностью при решении ряда задач, потенциально возможно. К одной из задач относится обобщенная оценка прогнозируемой лесопожарной ситуации на уровне целых регионов для планирования межрегионального маневрирования силами и средствами пожаротушения.

В настоящее время силами Гидрометцентра России формируется краткосрочный прогноз базовых метеопараметров (и соответственно, индексов пожарной опасности в лесах), который ежедневно (на 5 дней вперед) поступает в (ИСДМ-Рослесхоз), что дает основу для формирования краткосрочного прогноза вероятной плотности возникновения лесных пожаров на охраняемой территории. Для этого при корректной обработке исходных ретроспективных данных о лесных пожарах, возникающих при разных значениях индекса пожарной опасности, а также в случае оптимального агрегирования (усреднения) значений, можно построить математическую взаимосвязь между указанными значениями. В качестве величины индекса пожарной опасности в лесах нами предлагается использовать индекс пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды, алгоритм расчета которого детально описан в разделе 4.2 (далее – комбинированный индекс). Указанная цель достигается поэтапными действиями, которые включают выбор исходных данных для формирования модели, выбор уровня агрегирования (усреднения) исходных данных, разработку математической модели и программного обеспечения для автоматизации расчета прогнозных значений, оценку точности прогноза и расчет доверительного интервала полученных значений.

При решении поставленной задачи исходили из следующих методических подходов.

В качестве исходных данных, как и при решении других задач диссертации, нами использовались сведения о лесных пожарах по результатам наземного и авиационного мониторинга, поступающие из региональных диспетчерских служб [92]. Анализ достоверности сведений о лесных пожарах, полученных от наземных лесопожарных формирований, показал, что ретроспективные данные не всегда достоверны [249] (см. раздел 3.2). В связи с этим использовать наземные сведения о лесных пожарах до 2010 года (когда была создана организационная

система контроля за достоверностью сведений о лесных пожарах) нужно с осторожностью.

В целях снижения влияния естественных колебаний горимости, был выбран, как показано в разделе 3.3, интервал наблюдений, кратный периоду этих колебаний, то есть 11 лет. Чтобы получить достоверные оценки точности прогноза использовался метод кроссвалидации. Прогноз на 2018 год формировался на основании обучающей выборки по данным с 2007- 2017 годы; затем проводился сдвиг на один год и по данным 2008-2018 годы рассчитывался прогноз на 2019 и т.д., вплоть до прогноза на 2024 год.

Для проведения исследований было разработано программное обеспечение, которое позволяло автоматизировать расчет оправдываемости прогноза и экспериментировать с различными вариантами алгоритмов, выбирая оптимальный. В целях смягчения влияния случайных факторов на точность прогнозирования, агрегирование (усреднение) проводилось по территории, по времени, а также по ситуациям со схожими условиями пожарной опасности. Несмотря на то, что деление по лесничествам является логичным, но малоприменимым на практике из-за недостатка данных о лесных пожарах для моделирования по большому количеству лесничеств, были использованы описанные выше подходы к агрегированию. Оптимальным вариантом для малых регионов принят учет всей его площади, для крупных регионов – деление их территории по границам лесных районов.

Для определения площади земель лесного фонда, начиная с которой целесообразно делить регионы, весь список субъектов Российской Федерации был рассортирован по убыванию. Именно с 20 млн га, площади регионов значительно увеличиваются (рисунок 5.4), поэтому границу предлагается использовать для деления регионов на малолесные (где используется вся территория) и остальные

(где территория субъекта Российской Федерации дополнительно делится на лесные районы).

Исходные метеоданные, которые изначально представляются в разрезе метеостанций, пересчитывались на территорию, по которой будет проводиться моделирование с использованием расчета средневзвешенного (по площади) значения.

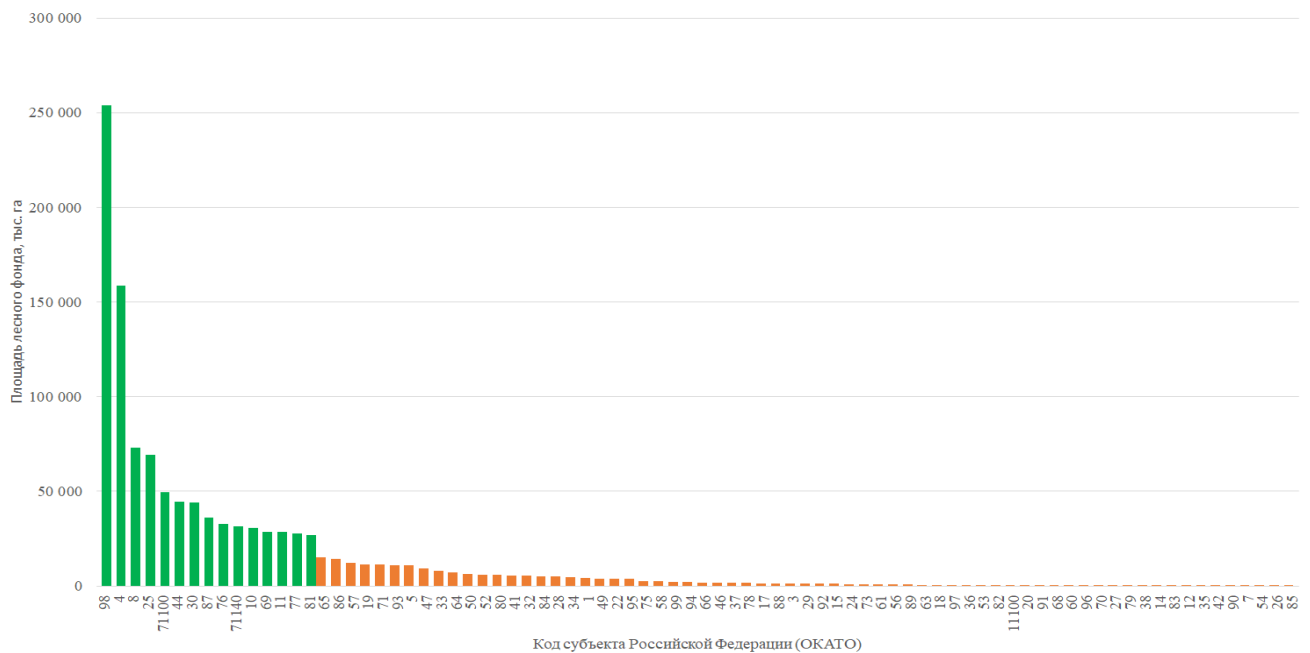


Рисунок 5.4 – Обоснование выбора регионов, по которым требуется деление территории по лесным районам

Для удобства визуального сравнения значений по количеству возникающих пожаров на соседних территориях они были переведены в относительные единицы (частота пожаров – количество пожаров на 1 млн га).

С точки зрения временных интервалов агрегирования (год, квартал, месяц, декада, день) опытным путем было установлено, что оптимальное усреднение по времени – это декада года (10 дней).

Для усреднения значений по схожим условиям пожарной опасности все значения из заданного интервала индексов пожарной опасности по условиям погоды были сгруппированы в одну группу. Как будет показано далее,

распределение значений индексов ближе к логнормальному, в связи с чем, в целях выравнивания разброса значений в разных интервалах, за интервал агрегирования по индексу пожарной опасности принят интервал  $\pm 0.1$  логарифма указанного индекса.

Сформированная выборка исходных данных представляла собой значения следующего формата: код территории; декада года; частота возникновения лесных пожаров и индекс пожарной опасности в лесах.

### 5.2.1 Обоснование и разработка математической модели прогнозирования

Известно, что повышение размерности задачи (количество параметров, используемых при моделировании) существенно усложняет вычисления и снижает точность предсказаний. Ключевым решением является выбор в качестве математической модели функции только от двух переменных, а все остальные факторы сгруппировать в индивидуальные модели. То есть одно многомерное пространство состояний разбить на множество трехмерных пространств (два входных параметра и одна целевая переменная), что позволит визуализировать модель (в виде трехмерной поверхности) и снизить вероятность аномалий. При этом одним из двух факторов естественно выступает значение комбинированного индекса пожарной опасности на день, для которого рассчитывается прогноз.

Так как в течение года в ряде случаев существенно меняются лесопирологические условия территории, то день пожароопасного сезона выбран в качестве дополнительного параметра. В ряде случаев горимость внутри сезона меняется значительно (например, имеется ярко выраженный весенний пик или летний пик горимости), что обуславливает целесообразность формирования отдельной модели для таких периодов.

Деление пожароопасного сезона на периоды является условным. В некоторые годы бывает поздняя весна, раннее лето и т.д. При этом меняется и характер горимости. Причем выбор узких периодов приводит к уменьшению

количества исходных данных о пожарах, которые используются для обучения модели, что снижает её защищенность от случайных аномалий. В этих условиях, на основании экспертного мнения специалистов, а также пробных расчетов, принято решение условно считать летом период от 17 по 23 декаду года (с 11 июня по 20 августа).

Оценка наличия пика проводилась по критерию 30 %; то есть сравнивалась средняя частота возникновения лесных пожаров в декаду каждого сезона, и, если значение превышало ее более чем на 30 %, этот период считался пиком. Значение 30 % процентов выбрано эмпирически, исходя из того, что такой порог установлен в качестве допустимой погрешности оценки площадей лесных пожаров, определенных космическими методами.

Таким образом все территории попали в одну из следующих категорий (рисунок 5.5): весенний пик; весенне-летний пик; летний пик; летне-осенний пик; осенний пик; нет четко выраженных пиков.



Рисунок 5.5 – Расчетные пики горимости лесов для различных территорий

Соответственно, для каждой территории, в зависимости от указанных выше значений, формировалась модель, закрывающая весь пожароопасный сезон. Например, если наблюдается весенний пик, то модель строится для весны и для лето-осени. Если наблюдается летний пик, то строятся модели для весны, для лета и для осени. Для территорий, которые не имеют четко выраженных пиков, строилась одна модель для всего сезона.

Все остальные факторы (включая природную пожарную опасность лесов) косвенно учитывались за счет правильного выбора территориальной единицы, по которой формировались исходные данные для отдельной модели, так как в самих ретроспективных данных о горимости уже учитывается лесопирологическая специфика территории. Учитывая, что ретроспективные данные о количестве возникавших в конкретный день лесных пожаров, а также значения индекса пожарной опасности по условиям погоды в больших выборках распределены в соответствии с логнормальным законом распределения, то для моделирования использовались преобразованные (натуральным логарифмом) значения.

В общем формализованном виде модель можно представить в следующем виде ( 10 ):

$$\ln(np) = f_{ter,sez}(dec, \ln(I_{ter})) \quad (10)$$

где  $\ln(np)$  – логарифм частоты возникновения лесных пожаров;  
 $np$  – частота возникновения лесных пожаров (случаев на 1 млн га);  
 $f_{ter,sez}$  – функция полинома  $n$  степени, аппроксимирующая исходные данные;  
 $\ln(I_{ter})$  – логарифм комбинированного индекса пожарной опасности, в зависимости от условий погоды;  
 $dec$  – декада года (является функцией от даты);  
 $ter$  – код территории (для малолесных регионов территорией является весь субъект Российской Федерации, для остальных – лесной район внутри субъекта Российской Федерации);  
 $sez$  – признак сезона, зависит от территории и декады года (является функцией от даты).

Для построения функции  $f_{ter,sez}$  использовался метод аппроксимации исходных данных полиномом  $n$ -степени. Разработанное программное обеспечение позволило организовать расчеты прогнозных значений в нескольких вариантах (для полиномов 2, 3, 4, 5, 6 и 7 степени). Например, формула аппроксимации для

полинома 3 степени будет представлена в следующем виде ( 11 ):

$$\begin{aligned} \ln(np) = & \text{intercept} + a \times \text{dec} + b \times \ln(I_{ter}) + ab \times \text{dec} \times \ln(I_{ter}) + \\ & +aa \times \text{dec}^2 + bb \times (\ln(I_{ter}))^2 + aab \times \text{dec}^2 \times \ln(I_{ter}) + abb \times \text{dec} \times (\ln(I_{ter}))^2 + \\ & +aaa \times \text{dec}^3 + bbb \times (\ln(I_{ter}))^3 \end{aligned} \quad (11)$$

где  $\ln(np)$  – логарифм частоты возникновения лесных пожаров;  
 $\text{intercept}$ ,  $a$ ,  $b$ ,  $ab$ ,  $aa$ ,  $bb$ ,  $aab$ ,  $abb$ ,  $aaa$ ,  $bbb$  – коэффициенты модели;  
 $\text{dec}$  – декада года;  
 $I_{ter}$  – комбинированный индекс пожарной опасности в зависимости от условий погоды.

Визуальный анализ полученных моделей показал наличие в ряде случаев существенных "краевых эффектов" [250], когда полученная аппроксимирующая поверхность изгибалась на краях используемого интервала (рисунок 5.6). Также в ряде случаев, из-за отсутствия данных, в определенной области графика могли возникать искажения. С целью их устранения в исходные данные были введены дополнительные "нулевые" точки (рисунок 5.7).

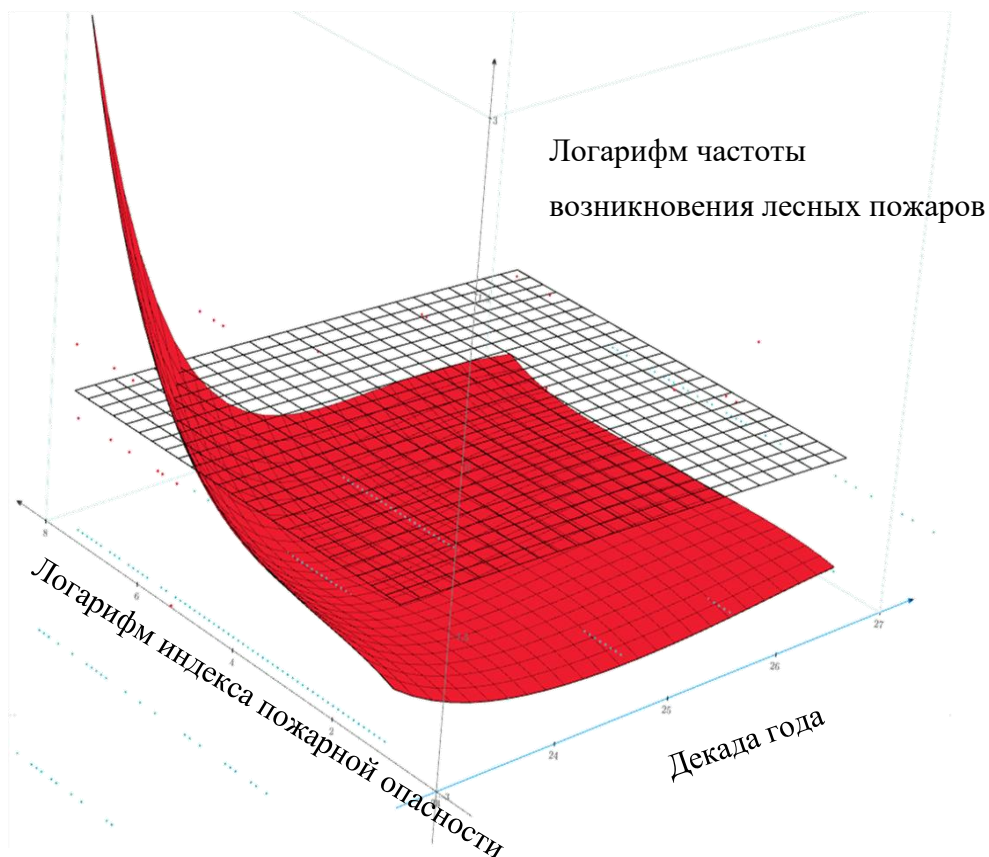


Рисунок 5.6 – Пример краевого эффекта. Визуализация варианта модели для Костромской области

Так как применялась логарифмическая шкала, в качестве "нулевых" значений использовались значения, соответствующие минимальной величине частоты возникновения пожаров для этой территории, уменьшенной на определенный коэффициент, который подбирался экспериментально в ходе вычислительного эксперимента (по минимизации средней относительной ошибки).

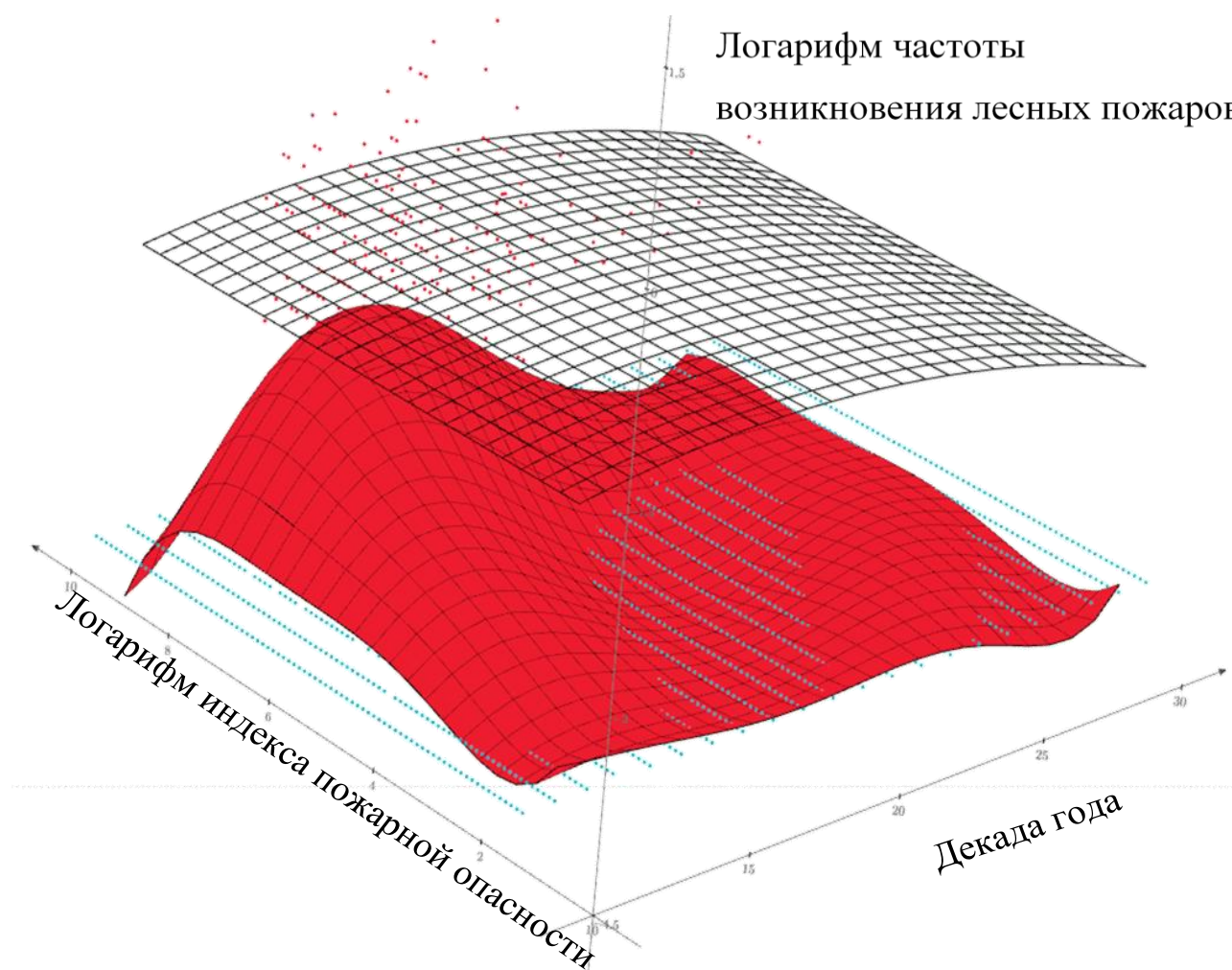


Рисунок 5.7 – Пример визуализации модели (полином 5 степени) взаимосвязи между индексом пожарной опасности, декадой года и частотой возникновения лесных пожаров, для Алтай-Саянского горно-таежного района Иркутской области

В связи с тем, что увеличение степени полинома функции, которой производится интерполяция данных, приводит к эффекту переобучения, была проведена отдельная работа по исследованию этого эффекта.

Для визуализации коэффициента детерминации ( $R^2$ ) всех моделей, рассортируем коды территорий в порядке возрастания  $R^2$ . Трехмерная визуализация зависимости значений  $R^2$  для тех моделей, которые использовались для программирования (с учетом характера внутрисезонной горимости) приведена ниже (рисунок 5.8).

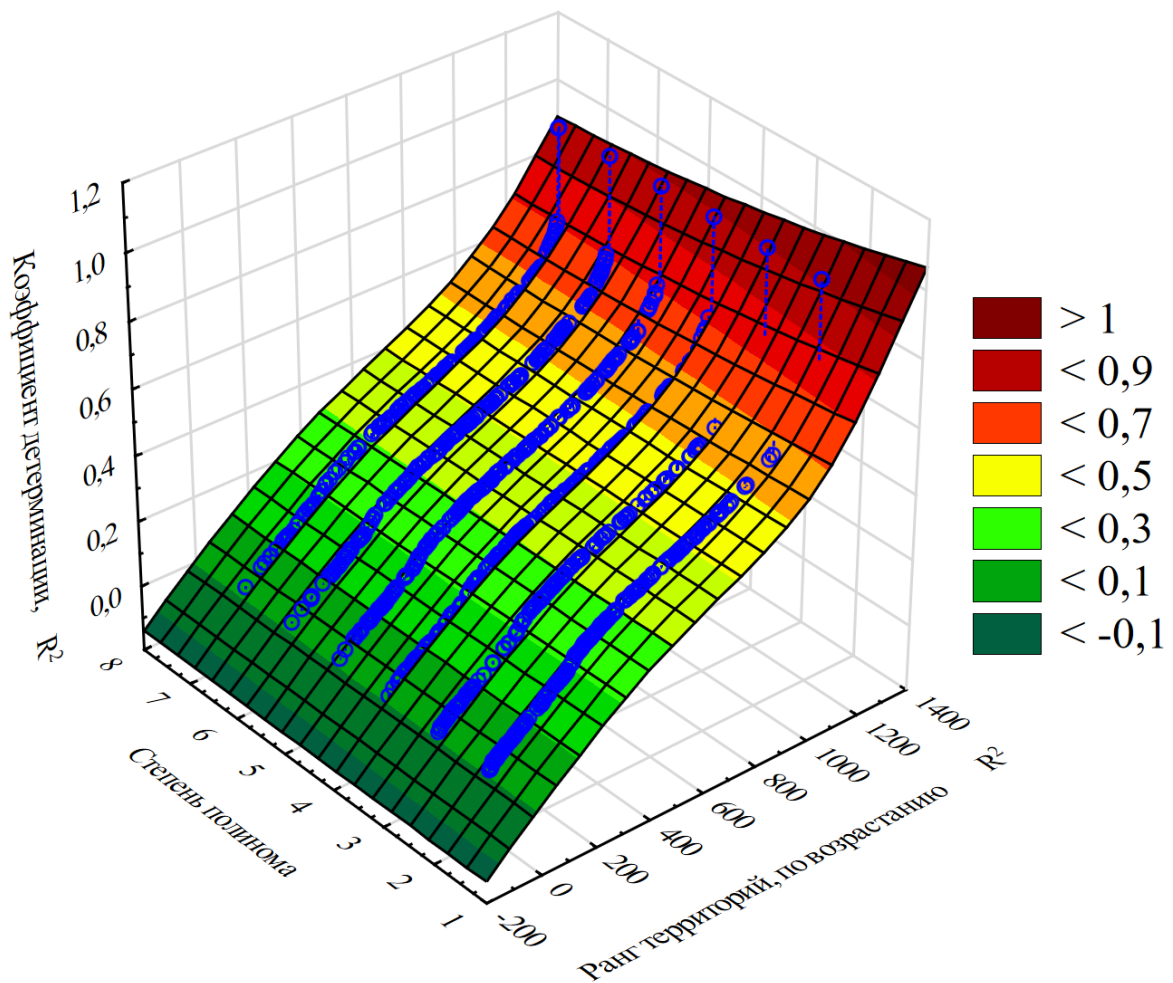


Рисунок 5.8 – Анализ взаимосвязи между коэффициентом детерминации (качеством модели), степенью полинома и кодом территории

Как видно на графике,  $R^2$  больше зависит от самих исходных данных, чем от степени полинома. Это позволяет перейти от рассмотрения всех территорий к обобщенной диаграмме, показывающей разброс значений (рисунок 5.9).

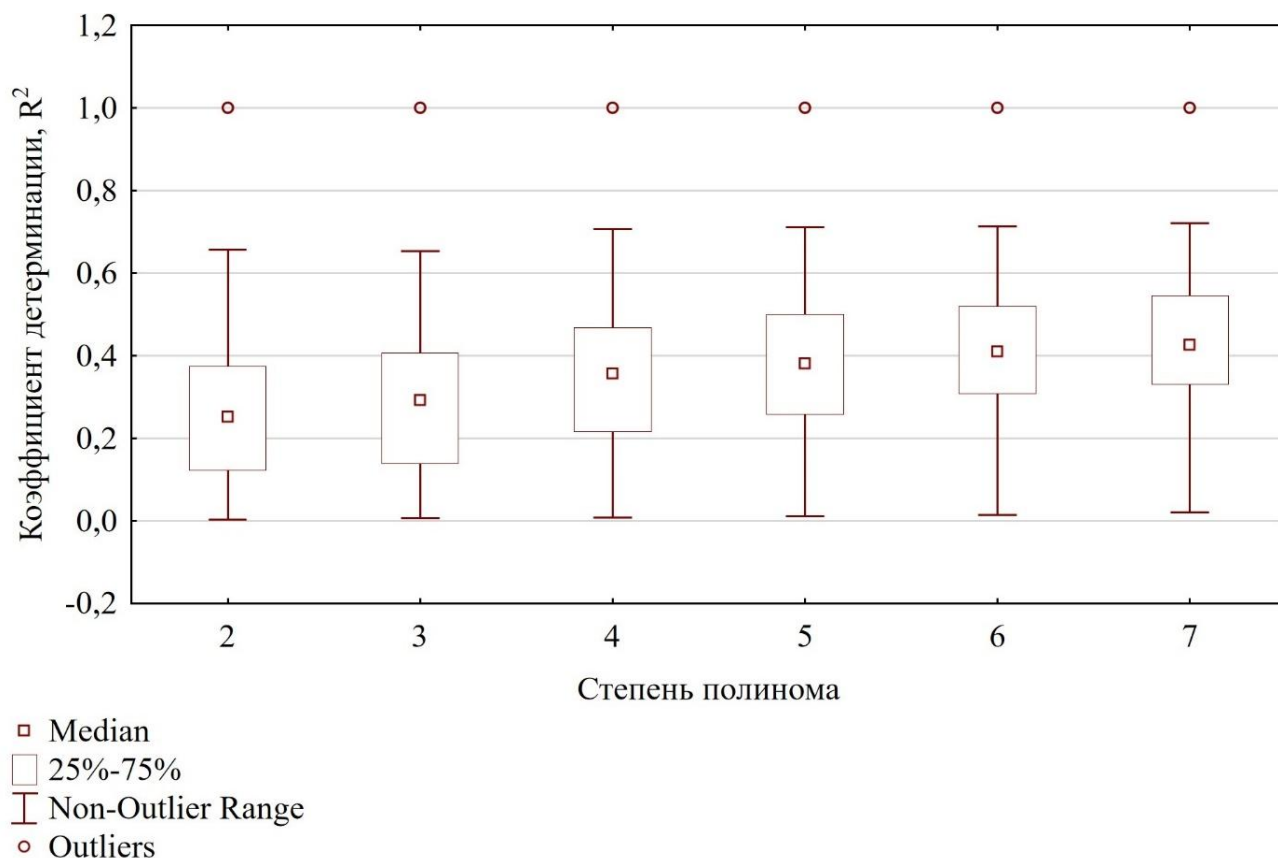


Рисунок 5.9 – Разброс значений коэффициента детерминации  $R^2$  для разных значений степени полинома

Как видно из диаграммы, при увеличении степени полинома, значение  $R^2$  сначала растет значительно (до  $n=5$ ), затем рост замедляется. Таким образом дальнейшее увеличение степени полинома нецелесообразно.

Для реализации поставленной задачи, связанной с исследованием взаимосвязей, разработкой модели прогнозирования, оценкой точности, а также для организации апробации метода, была разработана экспериментальная технология, которая состоит из набора отдельных функциональных блоков (рисунок 5.10), часть из которых используется в том числе и для других целей информационного обеспечения. Работу технологии можно условно разделить на исследовательский цикл (на этапе подготовки, на рисунке показан красным) и на производственный цикл (в текущем режиме, на рисунке показан оранжевым).

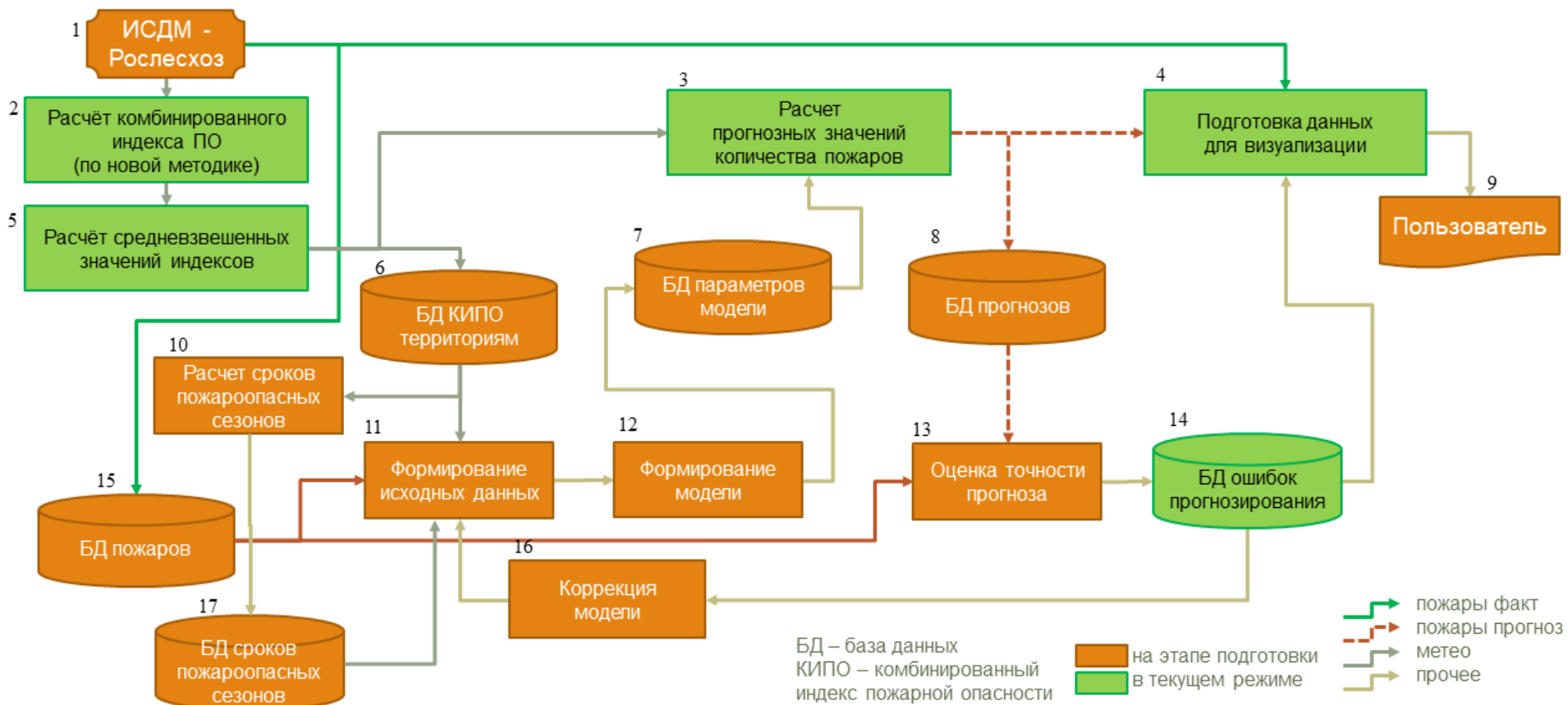


Рисунок 5.10 – Экспериментальная технология краткосрочного прогнозирования лесных пожаров

В рамках исследовательского цикла реализуется следующий алгоритм работы (рисунок 5.10):

– из ИСДМ-Рослесхоз (блок 1) загружаются данные о количестве и координатах возникших пожаров (поступают в базу данных 15), а также базовые метеоданные по каждой метеостанции (температура, температура точки росы, осадки и т.д.), которые поступают в блок 2;

– в блоке 2 производится расчет индексов пожарной опасности в зависимости от условий погоды по четырем базовым методикам (модифицированная методика Нестерова, ПВ-1, ПВ-2, ПВГ);

– в блоке 5 производится расчет для каждой территории (для субъектов Российской Федерации, лесных районов внутри субъектов Российской Федерации) средневзвешенных (по площади) значений в соответствии с установленной для каждой территории методикой (комбинированный индекс пожарной опасности в лесах, в зависимости от условий погоды), результат поступает в базу данных 6;

– процедура 10 - на основании базы данных индексов пожарной опасности 6 производит расчет дат начала и завершения пожароопасного сезона в разрезе метеостанций, который заносится в базу данных 17;

– в блоке формирования исходных данных 11, на основании сведений о пожарах из базы данных 15, производится оценка внутрисезонного характера горимости каждой территории;

– в этом же блоке, на основании координат пожаров проводится расчет лесного района, в котором возник пожар, а также преобразование данных о количестве лесных пожаров в частоту их возникновения (случаев на 1 млн га);

– в этом же блоке производится группировка данных для случаев, соответствующих определенному значению индекса пожарной опасности, и формируется преобразованная выборка (регион/дата/логарифм частоты

возникновения пожаров/логарифм комплексного индекса пожарной опасности в лесах);

– для борьбы с краевыми эффектами в исходные данные подмешиваются дополнительные граничные точки, соответствующие нулевым значениям пожаров (на рисунке показаны синим);

– в блоке 12 происходит формирование прогнозной модели (обработка выбросов и аппроксимация исходных данных), а полученные параметры модели загружаются в базу данных 7;

– на основании исходных данных 5 и параметров модели 7 в блоке 3 рассчитываются прогнозные значения частоты возникающих пожаров и загружаются в базу данных прогнозов 8;

– в блоке 13 проводится расчет разницы (ошибки) между фактическими 15 данными и прогнозными 8 данными о количестве лесных пожаров, результат заносится в базу данных 14;

– блок 4 используется для подготовки данных для интерактивной визуализации и предоставления пользователю 9.

В рамках производственного цикла реализуется следующий алгоритм:

– получение из ИСДМ-Рослесхоз (блок 1) исходных данных (прогнозные значения метеопараметров на 5 дней вперед и для контроля фактические данные о возникших пожарах за вчерашний день);

– в блоке 2 производится расчет индексов пожарной опасности в зависимости от условий погоды по четырем базовым методикам (модифицированная методика Нестерова, ПВ-1, ПВ-2, ПВГ);

– в блоке 5 производится расчет для каждой территории (для субъектов Российской Федерации, лесных районов внутри субъектов Российской Федерации) средневзвешенных (по площади) значений в соответствии с установленной для

каждой территории методикой (комбинированный индекс пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды), результат поступает в базу данных 6;

- в блоке 3 проводится: расчет декады года (по текущей дате); выбор нужной модели, на основании кода территории, характера горимости и текущей даты; на основе значений индексов пожарной опасности в лесах 5 и параметров соответствующей математической модели 7 рассчитывается прогнозное значение количества лесных пожаров;

- в блоке 4 данные готовятся для визуализации.

Для реализации указанных алгоритмов разработана программа для ЭВМ, которая представляет собой программный комплекс, состоящий из интерактивного веб-сервиса визуализации краткосрочного прогноза частоты возникновения лесных пожаров, а также ряда вспомогательных программных моделей (рисунок 5.11, приложение Б).

Функциональные возможности разработанного программного обеспечения [251] позволяют осуществлять:

- получение данных о прогнозном индексе пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды;

- расчет прогнозных значений количества лесных пожаров и доверительного интервала;

- выбор округа, региона и лесного района;

- визуализацию на линейном графике прогнозного значения (на предстоящий день) количества лесных пожаров, доверительного интервала и фактических значений (на вчерашний день) количества лесных пожаров;

- выбор детального или сглаженного варианта отображения фактических значений;

- отображение фактического, прогнозного значения (и доверительного интервала) на интерактивной карте и в интерактивной таблице (с цветовой шкалой);
- расчет средней абсолютной ошибки;
- расчет корреляции между логарифмом прогнозируемой частоты возникновения лесных пожаров и логарифмом фактической частоты возникновения лесных пожаров;
- расчет результативности прогноза.

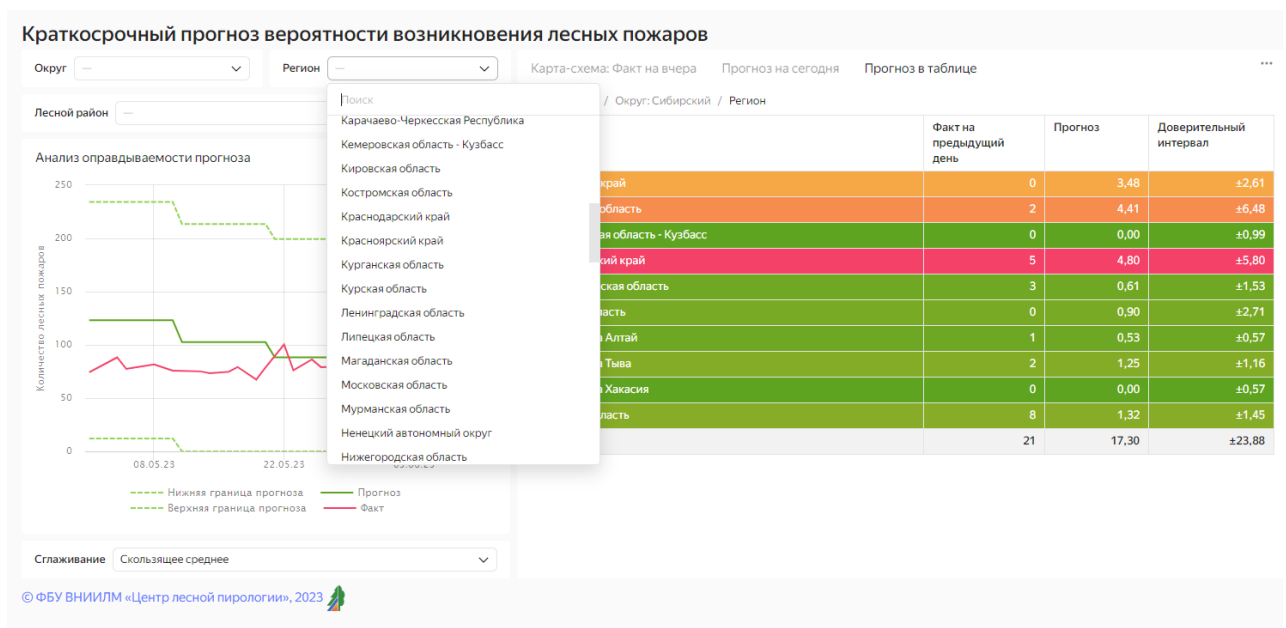


Рисунок 5.11 – Пример интерфейса программы краткосрочного прогноза возникновения лесных пожаров (выбор субъектов Российской Федерации для последующей визуализации прогнозных значений)

## 5.2.2 Оценка доверительного интервала результатов прогнозирования

Существует несколько подходов к оценке точности прогнозов, каждый из которых имеет свои особенности, которые ограничивают сферу их применения (таблица 5.3). В лесном хозяйстве чаще всего используют среднюю относительную ошибку, но она имеет смысл только в случаях, когда фактическое значение не равно нулю.

Таблица 5.3 – Анализ наиболее распространенных показателей, применяемых для оценки оправдываемости прогноза

Показатель	Порядок расчета	Достоинства	Недостатки	Рекомендации по применению
Оправдываемость прогноза	Процент случаев, когда прогноз оправдался	Простой и понятный для пользователей	В случае, если прогноз представляется в виде непрерывной величины с доверительным интервалом, то значение оправдываемости будет всегда высоким, что не всегда удобно для оценки качества прогноза	Лучше подходит к прогнозам дискретных событий
Средняя абсолютная ошибка	Абсолютная величина разницы между прогнозируемым и фактическим значением	Применима почти во всех случаях	Сложно интерпретировать полученное значение (является ли оно приемлемым)	Рекомендуется использовать всегда, но в совокупности и с другими критериями
Средняя относительная ошибка	Отношение модуля абсолютной ошибки к фактическому значению	Легко сопоставлять результат	Имеет смысл только в случаях, если фактическое значение не равно 0.	Для прогнозирования пожаров можно ограниченно применять, интерпретируя результат как среднюю относительную ошибку для дней с пожарами.
Корреляция между прогнозируемым и фактическим значениями		Почти всегда применима для непрерывных величин	Показывает только синхронность изменения, но не величину такого изменения. Из-за специфики алгоритма расчета корреляции адекватно только, если форма распределения величин близка к нормальной	Для непрерывных значений, в случаях, когда на величину влияет большое количество различных факторов. Так же рекомендуется в совокупности с абсолютной ошибкой

В исследовательских целях в разработанную выше программу интегрирована возможность использования всех перечисленных показателей, но для внедрения в практику разработан другой показатель, который лучше характеризует степень полезности прогноза для текущей деятельности лесопожарных служб.

С точки зрения поставленной задачи целесообразно выбрать среднюю абсолютную ошибку (для расчета доверительного интервала), а также корреляцию для сопоставления качества прогноза с теоретически возможным значением. В частности, если взять за основу показатель (например, в нашем случае корреляция), который соответствует простому среднестатистическому значению (так называемый "наивный прогноз") за "0", а идеальное попадание за "1", то большинство прогнозов будет между этими интервалами. Если полученное в качестве прогнозирования значение по выбранному показателю меньше 0, то теряется смысл тратить силы на прогнозирование, если можно просто взять в качестве прогноза среднее значение. В качестве показателя, по которому проводится оценка, в случае краткосрочного прогноза частоты возникновения пожаров, рекомендуется взять значение корреляции.

Результативность – показатель, характеризующий полезность рассматриваемого алгоритма прогнозирования – определяется по формуле ( 12 ):

$$rp = \frac{cfc - cfcn}{1 - cfcn} \quad (12)$$

где  $rp$  – результативность прогноза;  
 $cfcn$  – корреляция между среднеголетними значениями для частоты возникновения лесных пожаров в заданную декаду года (наивным прогнозом) и фактическими значениями;  
 $cfc$  – корреляция между прогнозируемыми значениями и фактическими значениями за текущий год.

Для расчета доверительного интервала использовался стандартный подход к определению доверительного интервала среднего ( 13 ). При этом за среднее значение принималась средняя абсолютная ошибка по всем случаям (за два года по анализируемой территории). Для этого были рассчитаны значения относительной

ошибки прогноза для каждой территории по двум годам: 2010 (до обучающей выборки) и 2022 (после обучающей выборки).

$$u = m_s + p \times \frac{s}{N} \quad (13)$$

где  $u$  – диапазон возможного отклонения от указанного в качестве "прогноза" значения частоты возникновения лесных пожаров (предполагаемая относительная ошибка прогноза);  
 $m_s$  – значение средней абсолютной ошибки по выборке (за 2 года);  
 $p$  – 95-й процентиль распределения Стьюдента для двустороннего критерия;  
 $s$  – среднеквадратическое отклонение для выборки.

$$p = \left| qt \left( \frac{\alpha}{2}, v \right) \right| \quad (14)$$

где  $p$  – 95-й процентиль распределения Стьюдента для двустороннего критерия;  
 $\alpha$  – двусторонний уровень значимости, принимаем равным 0.05;  
 $qt$  - распределение Стьюдента для двустороннего критерия;  
 $v = N - 1$  – степень свободы (для количества  $N$  элементов в выборке);

$$s = stdev(data) \times \sqrt{\frac{N}{N-1}} \quad (15)$$

где  $s$  – среднеквадратическое отклонение для выборки;  
 $data$  – контрольная выборка значений;  
 $stdev(data)$  – квадратный корень из дисперсии совокупности элементов в контрольной выборке;  
 $N$  – количество элементов в контрольной выборке  $data$ .

В течение 2024 года с использованием разработанного программного обеспечения в качестве апробации в ежедневном режиме проводилось наблюдение за прогнозными и практическими значениями количества возникающих лесных пожаров на соответствующей территории (рисунок 5.12, рисунок 5.13).

Результаты средневзвешенных значений основных метрик по России в целом, а также по Дальневосточному и Сибирскому федеральным округам (ФО) приведены на рисунках (рисунок 5.12 – рисунок 5.13) и в таблице ниже (таблица 5.4).

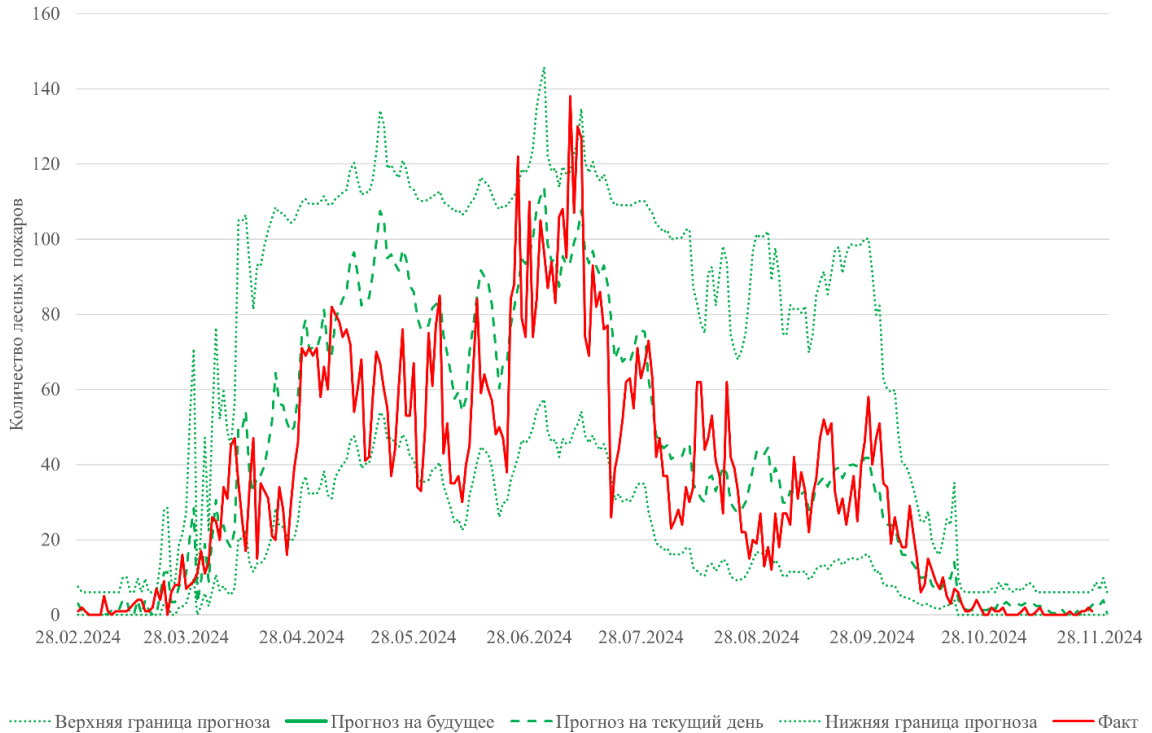


Рисунок 5.12 – Сравнительная динамика прогнозного и фактического значения количества возникающих лесных пожаров по территории Российской Федерации в 2024 году

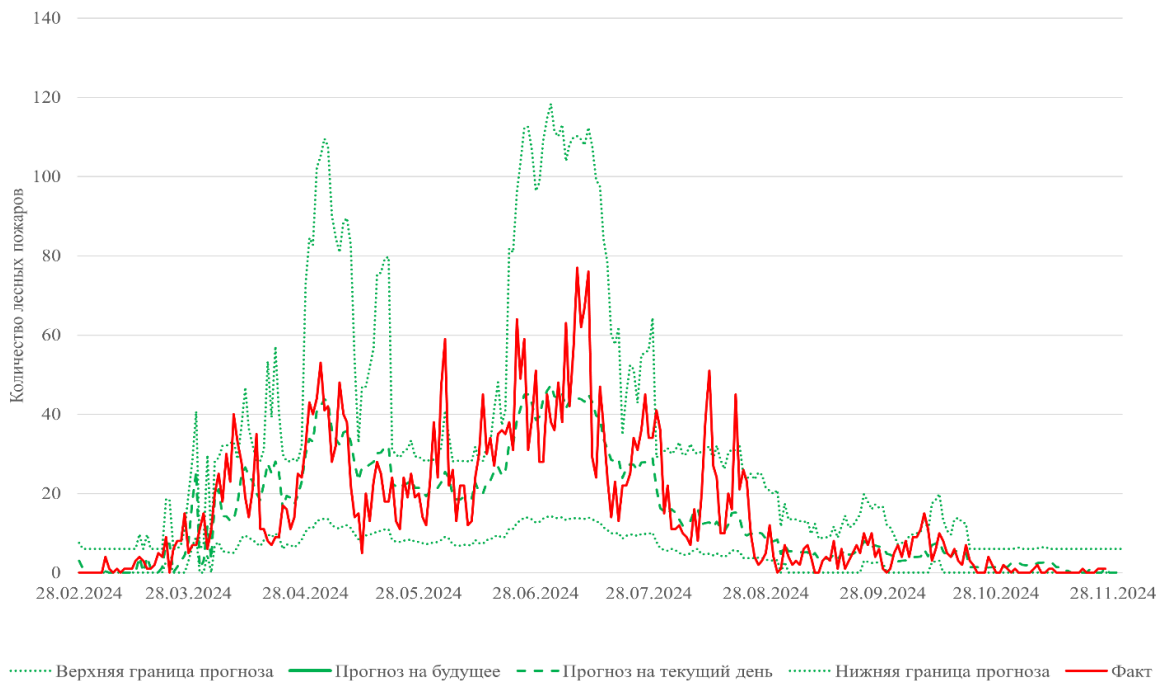


Рисунок 5.13 – Сравнительная динамика прогнозного и фактического значения количества возникающих лесных пожаров по территории Дальневосточного федерального округа в 2024 году

Как видно из представленных на рисунках графиках фактическое значение прогнозируемых величин в большинстве случаев отличалось от прогнозного на величину, не превышающую границы доверительного интервала. Кроме того, с практической точки зрения, даже в случае наличия отклонений, динамика изменения прогнозного значения повторяла динамику изменения фактического значения, что дает основание утверждать о возможности использования предлагаемого подхода. Для количественной оценки качества прогнозов были проведены расчеты средних значений отклонений по описанным выше показателям от указанных данных (таблица 5.4).

Таблица 5.4 – Анализ оправдываемости краткосрочного прогноза возникновения лесных пожаров, агрегированного по всей Российской Федерации, по годам

Год	Абсолютная ошибка, случаев	Средняя относительная ошибка в дни с пожарами, %	Корреляция	Результативность
2018	17	27	0,85	0,82
2019	22	35	0,85	0,57
2020	27	38	0,81	0,53
2021	18	29	0,88	0,59
2022	18	34	0,85	0,69
2023	16	25	0,86	0,81
2024	12	29	0,88	0,64
<b>Средние значения</b>	<b>19</b>	<b>31</b>	<b>0,85</b>	<b>0,66</b>

Как видно из приведенной таблицы, точность прогноза за последние годы в целом по стране относительно стабильна. Так, стандартное отклонение абсолютной ошибки составляет 4,8 случая, по относительной ошибке 4,7 %, а по корреляции всего 0,02. Средняя результативность 0,66, что показывает существенное преимущество по сравнению с "наивным" прогнозом.

Результаты для федеральных округов по разным показателям немного отличаются, но общая тенденция заключается в том, что точность прогноза

повышается при увеличении площади федерального округа. Например, абсолютная ошибка изменяется от 1 до 6, относительная – от 93 % до 32 %, по корреляции от 0 до 0.75. При этом для небольших округов результативность прогноза становится отрицательной (таблица 5.1). Это позволяет сделать вывод, что использовать подобный прогноз на окружном уровне оправдано только в Приволжском, Уральском, Сибирском и Дальневосточном федеральных округах.

Таблица 5.5 – Анализ оправдываемости краткосрочного прогноза возникновения лесных пожаров в 2024 году, агрегированного по федеральным округам

Регион	Абсолютная ошибка, случаев	Средняя относительная ошибка в дни с пожарами, %	Корреляция	Результативность
Северо-Кавказский федеральный округ	1	93	0	-
Южный федеральный округ	4	85	0,13	-0,38
Центральный федеральный округ	3	62	0,58	-0,30
Северо-Западный федеральный округ	5	86	0,33	-0,47
Приволжский федеральный округ	3	75	0,45	0,25
Уральский федеральный округ	6	146	0,53	0,39
Сибирский федеральный округ	6	59	0,69	0,52
Дальневосточный федеральный округ	6	32	0,75	0,49
<b>Российская Федерация</b>	<b>12</b>	<b>29</b>	<b>0,88</b>	<b>0,64</b>

Таким образом, проведенные исследования позволили впервые разработать методические подходы к краткосрочному прогнозу частоты возникновения лесных пожаров, основанные на моделировании взаимосвязи между индексами пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды и частотой возникновения лесных пожаров. Особенностью предложенного подхода является учет при выборе

уровня агрегирования по территории лесорастительных условий и распределения горимости внутри пожароопасного сезона, а также использование преобразованных (с учетом формы распределения) значений исходных данных (частоты возникновения лесных пожаров и индексов пожарной опасности).

По итогам выполнения указанной работы получен ряд свидетельств о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности [61, 251–253]. Кроме того, в соответствии с приказом ФБУ ВНИИЛМ от 02.08.2023 № 95 рассчитанная по указанной методике модель поставлена на баланс в качестве ноу-хау (приложение Е).

### **Выводы по главе 5:**

1. Обоснован состав основных параметров, характеризующих пожароопасный сезон в лесах - сроки начала и завершения сезона, его продолжительность, напряженность сезона (доля дней с повышенным классом пожарной опасности в лесах по условиям погоды).

2. Впервые разработана методика прогноза основных параметров пожароопасного сезона, которая позволяет производить расчеты на уровне субъектов Российской Федерации и отдельных лесничеств на основе исходных данных за средний период повторяемости пиков горимости (11 лет). Она основана на использовании методов прогнозирования временных рядов (NaiveForecaster, AutoETS, AutoARIMA, BATS, MLP) с определением минимального значения средней величины среднеквадратической ошибки, которая служит критерием для выбора прогнозных значений параметров пожароопасного сезона.

3. Использование методики позволяет получить оправдываемость прогноза для лесничеств и субъектов Российской Федерации на уровне 80 – 83%, при этом средняя абсолютная ошибка определения даты начала пожароопасного сезона составляет  $\pm 6 - 8$  дней (5 – 7%), даты завершения сезона -  $\pm 9 - 10$  дней (3 – 4%),

продолжительности пожароопасного сезона  $\pm 11 - 13$  дней (8 – 11%). Прогноз напряженности пожароопасного сезона устанавливается с относительной ошибкой 15 – 21%. В целом прогноз по разработанной методике более достоверный, чем при использовании сравнения со среднемноголетним значением и его точность достаточна для использования в качестве дополнительного источника информации на этапе подготовки к пожароопасному сезону.

4. Впервые разработана методика краткосрочного прогноза частоты возникновения лесных пожаров, основанная на моделировании взаимосвязи между индексами пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды и частотой возникновения лесных пожаров.

5. Проведена оценка применимости данной методики (в частности, показано, что возможность её применения для оценки вероятности возникновения лесных пожаров в малолесных регионах нецелесообразна).

6. Впервые разработан удобный и простой для интерпретации показатель результативности прогноза, который показывает, насколько близок он к идеальному.

## **ГЛАВА 6. МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМЫ ОХРАНЫ ЛЕСОВ ОТ ПОЖАРОВ**

### **6.1 Оценка сравнительной эффективности организации охраны лесов от пожаров**

Передача полномочий по осуществлению мер пожарной безопасности и тушению лесных пожаров субъектами Российской Федерации в соответствии с Лесным кодексом Российской Федерации предоставила регионам существенную свободу в формировании системы охраны лесов от пожаров, определении зон контроля лесных пожаров, выборе способов и методов их тушения. Эффективность деятельности органов государственной власти субъектов Российской Федерации в этой сфере принято определять по конечному результату: минимизации вреда, причиненного пожарами лесам и объектам инфраструктуры, и затратам на реализацию соответствующих мер охраны лесов [56–58, 184]. Для оценки эффективности переданных полномочий утверждена методика [186], основанная на рейтинговом методе. В частности показателями (критериями), характеризующими в ней организацию и обеспечение охраны лесов от лесных пожаров, являются [254]:

– соотношение средней площади одного лесного пожара, по которому осуществлены мероприятия по тушению, текущего года к аналогичному среднему 5-летнему значению, процентов;

– соотношение площади лесных пожаров текущего года к целевому показателю, установленному в соответствии с приложением к методике расчета целевых показателей ежегодного сокращения площади лесных пожаров на землях лесного фонда для субъектов Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации

от 13.08.2022 № 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", процентов;

– доля лесных пожаров, ликвидированных в течение первых суток (24 часа с момента обнаружения), в общем количестве ликвидированных лесных пожаров, по которым проводились мероприятия по тушению (по числу случаев), процентов;

– соотношение доли лесных пожаров, обнаруженных в зоне наземного обнаружения и тушения, к средней площади обнаружения лесных пожаров, исчисленной за предыдущий 5-летний период по субъекту Российской Федерации в указанной зоне (средняя площадь обнаружения), процентов;

– соотношение доли лесных пожаров, обнаруженных в зоне лесоавиационных работ (за исключением зоны контроля лесных пожаров), к средней площади обнаружения лесных пожаров, исчисленной за предыдущий 5-летний период по субъекту Российской Федерации в указанной зоне (средняя площадь обнаружения), процентов.

Эти показатели не только косвенно связаны с организацией и обеспечением охраны лесов от пожаров [184, 187], но на них также влияет большое количество других факторов, в первую очередь погодных.

Следовательно, существует необходимость выработки новых подходов к оценке организации и обеспечения охраны лесов от лесных пожаров.

Сохраняя общую концепцию необходимости оценки обобщенной эффективности по косвенным показателям, предлагается частично исключить влияние факторов, на которые лесопожарные подразделения по объективным причинам не могут повлиять. На основе экспертного анализа различных ситуаций и производственных показателей, а также практики работы автора диссертации в сфере пожаротушения, можно сделать вывод, что факторы, влияющие на эффективность работы, условно делятся на две группы: организационные

и погодные. Все организационные факторы в конечном счете влияют на размер площади, пройденной огнем, размер вреда, нанесенного пожаром, и на объем финансовых затрат на его тушение.

К организационным факторам относятся и средства, выделенные на обеспечение охраны лесов от пожаров, которые также влияют на пройденную огнем площадь, размер ущерба и затраты. Учитывая, что финансирование мероприятий осуществляется из разных источников (не на все из них регионы могут оказать влияние), а также, что вложенные средства иногда могут принести реальную пользу только по прошествии нескольких лет (или приносить ее в течение протяженного по времени периода), не представляется возможным оценить влияние денежных вложений на показатели эффективности организации охраны лесов от пожаров в конкретный год. Экономическая составляющая – предмет дальнейших исследований и в рамках предлагаемого подхода не учитывалась.

При этом вред, причиненный лесам, а также затраты на тушение напрямую связаны с площадью, пройденной огнем в ходе пожаров. Численная взаимосвязь здесь сильно варьируется, но как будет показано ниже, при относительной оценке динамики показателей достаточно использовать один из них.

Наиболее точным из трех названных показателей является оценка вреда, причиненного лесам. Однако его детальный расчет длителен и трудоемок, к тому же пока не утверждена соответствующая методика. Кроме того, отсутствие ретроспективных данных, которые необходимы при использовании предлагаемого подхода, приводит к тому, что размер площади, пройденной огнем, становится наиболее подходящим показателем для учета организационных факторов. В настоящее время источником официальных данных об этом критерии являются региональные диспетчерские службы (РДС), но в перспективе для получения таких сведений целесообразно использовать информацию со спутниковых снимков [255].

Погодные факторы, в отличие от экономической составляющей, не поддаются контролю и исключаются при расчете эффективности. Все их характеристики прямо или косвенно взаимосвязаны, и распределение этих показателей далеко от нормального, в связи с чем построение классической матрицы взаимосвязи математически не обосновано. Однако с точки зрения поставленной задачи, достаточно считать, что эти показатели пропорциональны площади пожаров.

Большинство существующих показателей, характеризующих влияние погоды на горимость лесов [236, 256, 257], рассчитываются по накопительному принципу и зависят от суточных значений метеопараметров. Таким, например, является официально утвержденный комплексный показатель природной пожарной опасности, в зависимости от условий погоды [100]. Попытка математически усреднить эти значения для получения характеристики года в целом, в большинстве случаев приводит к "средней температуре по больнице".

Учесть все факторы напрямую невозможно, но погодные косвенно характеризуются напряженностью пожароопасного сезона (число дней с классом пожарной опасности по условиям погоды III и выше, поделенное на количество дней в пожароопасном сезоне). Но так как физический смысл отмеченных групп показателей принципиально разный, то подход к их оценке тоже должен быть разный. Результат влияния организационных факторов отражается в пройденной огнем площади. Вместе с тем целесообразно учитывать не абсолютное значение горимости, а его отклонение от среднегодовалого. Аналогично погодные условия рекомендуется оценивать не по самой напряженности пожароопасного сезона, а по ее отклонению от среднего многолетнего значения. Таким образом, целесообразно принять следующие допущения, перечисленные в таблице (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Обоснование граничных значений критерия

Влияние фактора напряженности пожароопасного сезона, Н'	Влияние фактора горимость, S'	Условное описание ситуации	Вывод
Максимальная (+1)	Максимальная (+1)	Пожароопасный сезон сложный и горимость очень высокая (т.е. не связанная с промахами в работе)	Оценка работы удовлетворительная (0)
Минимальная (0)	Минимальная (0)	Пожароопасный сезон несложный, соответственно и горимость очень низкая (т.е. не связанная с хорошей работой)	Оценка работы удовлетворительная (0)
Минимальная (0)	Максимальная (+1)	Пожароопасный сезон несложный, соответственно, а горимость очень высокая (т.е. связана с ошибками при организации тушения)	Оценка работы негативная (-1)
Максимальная (+1)	Минимальная (0)	Пожароопасный сезон очень тяжелый, а горимость на низком уровне (т.е. работа организована эффективно)	Оценка работы положительная (+1)

Для того чтобы представить результат в интуитивно-понятном виде ("0", "-1", или "+1"), целесообразно между факторами напряженностью и горимостью поставить минус:  $(+1)-(+1)=0$ ;  $(0)-(0)=0$ ;  $(0)-(+1)=-1$ ;  $(+1)-(0)=+1$ . Т.е. необходимо из фактора "напряженности пожароопасного сезона" исключить фактор "горимости".

Аналогично, чтобы привести значения каждого фактора в нужную шкалу ("-1" – минимальное значение, "+1" – максимальное значение), необходимо разницу анализируемого и минимального значения разделить на разницу максимального и минимального значения ( 16 ):

$$H' = \frac{(H - H_{\min})}{(H_{\max} - H_{\min})} \begin{cases} = 1, \text{ при } H = H_{\max} \\ = 0, \text{ при } H = H_{\min} \end{cases} \quad (16)$$

Аналогично можно выразить условный показатель влияния фактора горимости.

Таким образом, для обеспечения масштабирования показателей в интуитивно понятную шкалу итоговую взаимосвязь можно выразить уравнением (17).

$$e = \frac{(H - H_{\min})}{(H_{\max} - H_{\min})} - \frac{(S - S_{\min})}{(S_{\max} - S_{\min})} \quad (17)$$

где  $e$  - условный показатель эффективности деятельности лесопожарных формирований;  
 $H_{\max}$  и  $H_{\min}$  - соответственно: максимальное и минимальное значения напряженности пожароопасного сезона по субъекту Российской Федерации за последние 11 лет (включая анализируемый год), в %;  
 $S_{\max}$  и  $S_{\min}$  соответственно: максимальное и минимальное значения площади, пройденной огнем за последние 11 лет (включая анализируемый год), в га.

При расчете напряженности для субъекта Российской Федерации важно учитывать, что данные по кассу пожарной опасности в лесах, в зависимости от условий погоды формируются по метеостанциям. Для повышения точности агрегированного (по субъекту Российской Федерации) расчета целесообразно учитывать весовые коэффициенты метеостанций. В этом случае формула расчета напряженности пожароопасного сезона  $H$  примет вид (18):

$$H = \frac{\sum_{i=1}^n (H_i k_i)}{\sum_{i=1}^n k_i} \quad (18)$$

где  $H_i$  - напряженность пожароопасного сезона, рассчитанная по классу пожарной опасности на метеостанции  $i$ , рассчитывается по формуле (19);  
 $k_i$  - весовой коэффициент метеостанции (доля площади зоны действия метеостанций, попадающей на территорию субъекта Российской Федерации);  
 $i$  - порядковый номер метеостанции, зона действия которой включает территорию субъекта Российской Федерации (может быть и рядом с границей в другом регионе);  
 $n$  - количество метеостанций, зона действия которых попадает на территорию субъекта Российской Федерации (19).

$$H_i = \frac{N_{III-V}}{n} \quad (19)$$

$N_{III-V}$  – число дней с классом пожарной опасности III и выше;  
 $n$  – число дней в пожароопасном сезоне.

При расчете средних и граничных значений берутся данные за 11 лет, включая текущий (за который рассчитывается коэффициент).

Полученный показатель  $e$  эффективности деятельности лесопожарных формирований будет всегда в диапазоне от -1 до +1. Для удобства восприятия рекомендуется использовать следующую вербально-числовую шкалу (таблица 6.2). Поскольку предлагаемый показатель не учитывает всех факторов, влияющих на эффективность деятельности лесопожарных формирований, его можно рекомендовать для предварительной оценки.

Таблица 6.2 – Вербально-числовая шкала условной оценки эффективности деятельности лесопожарных формирований

Интервал значений условного показателя эффективности деятельности лесопожарных формирований	Интерпретация значений (оценка работы)
от -1 до -0,75	Низкая
от -0,74 до -0,25	Ниже среднего
от -0,24 до 0,25	Средняя
от 0,26 до 0,75	Выше средней
от 0,76 до 1	Высокая

В качестве апробации метода был произведен расчет условного показателя эффективности по данным 2019 года (рисунок 6.1). Полученные результаты в целом соответствуют оценкам, высказанным в публикациях средств массовой информации и при экспертной оценке деятельности лесопожарных формирований, которая была проведена специалистами Федеральной диспетчерской службы ФБУ "Авиалесоохрана".



Рисунок 6.1 – Оценка эффективности работ лесопожарных подразделений по предлагаемому комплексному показателю

Рассматриваемый показатель удобен, но имеет свои ограничения. В частности он зависит от аномальных значений. Компенсировать эту особенность можно фильтрацией значений. т.е. исключить из расчета те годы, которые по классификации, рассмотренной в разделе 3.4 (таблица 3.5), относятся к аномальным.

К недостатку подобного показателя можно отнести то, что если регион плохо выполняет работы в течение многих лет, то постепенно оценка такой работы смещается в сторону "средней". В подобных случаях могут помочь и другие методы оценки работы. Например, можно оценить то, на сколько интенсивно применялись меры по тушению можно с использованием статистических методов, которые рассмотрены в следующем разделе.

При этом в рамках существующих требований к учету лесных пожаров, затрат на их тушение, а также системы учета объемов финансирования мероприятий, связанных с охраной лесов от пожаров, предлагаемый подход

является приемлемым для оценки деятельности лесопожарных служб, так как учитывает предыдущий опыт работы в различных метеорологических условиях. Рекомендуемый показатель может быть использован в информационных системах поддержки управленческих решений в области охраны лесов от пожаров (например, в ИСДМ-Рослесхоз [2, 81, 166, 258] или в ФГИС ЛК). Подобные системы уже существуют в ряде стран [259, 260]. Дальнейшая цифровизация отрасли, в частности формирование информационных баз данных с детализированными многолетними сведениями об объемах и стоимости проведенных мероприятий, позволит в перспективе учитывать и распределенное по времени влияние на эффективность работы лесопожарных служб финансовой составляющей.

## **6.2 Расчёт оптимальной площади зон контроля лесных пожаров**

В соответствии с лесным законодательством полномочия по лесопожарному зонированию возложены на Рослесхоз [65]. Одной из задач, связанных с использованием статистических методов при информационной поддержке управленческих решений, является оценка оптимальной площади зон контроля лесных пожаров, которые в соответствии с Правилами тушения лесных пожаров, утвержденными приказом Минприроды России от 01.04.2022 № 244 [261], устанавливаются в районе применения авиационных сил и средств пожаротушения. В указанной зоне КЧСиПБ субъекта Российской Федерации может быть принято решение о прекращении или приостановке работ по тушению лесного пожара при отсутствии угрозы населенным пунктам или объектам экономики в случаях, когда прогнозируемые затраты на тушение лесного пожара превышают прогнозируемый вред, который может быть им причинен. Фактически это является оптимизацией затрат на охрану лесов от пожаров на территории страны, для перераспределения ресурсов на другие пожары.

Решением Секции охраны и защиты лесов Научно-технического совета Рослесхоза (протокол от 11.11.2020 № 0914/500) перед ФБУ ВНИИЛМ была поставлена задача по оценке оптимальной площади зон контроля лесных пожаров для нескольких субъектов Российской Федерации.

Для решения поставленной задачи был организован сбор дополнительной информации с указанных регионов, а также разработана соответствующая методика, по которой были сформированы соответствующая база данных [83], а также необходимый функционал в виде интерактивной панели (дашборда) [262] (приложение А).

В числе факторов, влияющих на риски возникновения лесных пожаров [263, 264], и в том числе, на целесообразность выделения зон контроля, рассматривались следующие: удаленность территорий от аэропортов гражданской авиации [265]; наличие вблизи лесов населенных пунктов и территорий, потенциально подверженных лесным пожарам [266, 267]; плотность населения; средний класс природной пожарной опасности лесов. В итоге была сформирована база данных населенных пунктов, потенциально подверженных лесным пожарам [266], база данных территорий, потенциально подверженных угрозе лесных пожаров, а также интерактивная панель (дашборд) [268] для интерактивной визуализации результата и структуры финансирования мероприятий по охране лесов от пожаров (приложение А), которые могут быть использованы как самостоятельные интеллектуальные продукты для информационной поддержки управленческих решений.

В качестве основной гипотезы при решении указанной задачи принят тот факт, что за рассматриваемый период в регионе уже сформировался опыт работы с различным уровнем охраны лесов от пожаров, который выражается долей активно охраняемой территории [269]. На основании статистических данных о результативности работы лесопожарных подразделений в разрезе лесничеств при

различных погодных условиях был проведен ретроспективный анализ влияния уровня охраны на показатель эффективности работы лесопожарных формирований [111], алгоритм расчета которого подробно изложен в разделе 6.1, формула ( 17 ).

Кратко методику расчета описывает следующая последовательность действий:

- расчет показателя эффективности работы лесопожарных служб;
- расчет показателей плотности населения и класса природной пожарной опасности лесов;
- создание регрессионной модели взаимосвязи показателя эффективности работы лесопожарных служб с показателями плотности населения и класса природной пожарной опасности лесов;
- расчет скорректированного показателя эффективности работы лесопожарных служб по регрессионной модели;
- построения диаграммы рассеяния (график взаимосвязи) скорректированного показателя эффективности и доли активно охраняемой площади лесов.
- поиск максимума эффективности и пересчёт соответствующего значения доли активно охраняемой площади в абсолютное значение оптимальной площади зоны контроля лесных пожаров.

Опишем главные аспекты указанных вычислений более подробно.

Для расчёта площади зон контроля лесных пожаров была сформирована выборка исходных данных, которая включала в себя следующие показатели:

- границы лесничеств, по состоянию на 2021 год (на основе данных ИСДМ-Рослесхоз);
- границы лесопожарного зонирования (на основе данных ИСДМ-Рослесхоз);
- данные о лесных пожарах (на основе данных ИСДМ-Рослесхоз);

- ежедневный класс пожарной опасности, в зависимости от условий погоды за 2004 – 2021 годы (на основе данных ИСДМ-Рослесхоз);
- численность населения в разрезе муниципальных образований по состоянию на 01.01.2020 [270];
- средневзвешенный (по площади) класс природной пожарной опасности лесов и доля лесов не относящихся к резервным в разрезе лесничеств (сведения, поступившие от субъекта Российской Федерации).

Было принято, что к активно охраняемой площади с 2004 до 2017 года относились: зона наземной охраны, зона авиационной охраны и зона космического мониторинга 1-го уровня; с 2017 года: зона лесоавиационных работ (без зон контроля лесных пожаров); зона наземного обнаружения и тушения.

Расчёт фактической доли активно охраняемой площади по годам проводили по формуле ( 20 ):

$$dao = \frac{S_{ao}}{S} \quad (20)$$

где:  $dao$  – доля активно охраняемой площади лесничества;  
 $S_{ao}$  – площадь активной охраны, га;  
 $S$  – площадь лесничества, га.

Ретроспективные данные по лесопожарному зонированию наложены на современные границы лесничеств. Территории, не относящиеся к землям лесного фонда, исключаются, так как при расчёте показателей горимости лесов (частоты возникновения лесных пожаров, случаев на 1 млн га, относительной горимости лесов, га на 100 тыс.) учитываются только пожары на землях лесного фонда, у которых лесная площадь больше 25 га (для исключения случаев горения, не связанного с лесными пожарами).

При построении регрессионной модели учитывалось, что на частоту возникновения лесных пожаров влияет (из доступных данных) плотность населения и класс природной пожарной опасности лесов (КППО), то для

исключения двойного учета эти факторы нужно исключить (т.е. рассчитывать частную корреляцию при фиксированных значениях логарифма плотности населения и КППО). Такую операцию можно проводить только в случае, если значения исходных величин распределены в соответствии с нормальным законом распределения.

Создание линейной регрессионной модели выполнялась по стандартной методике [271] в рамках которой выполнялась проверка независимости исходных данных (проверка на мультиколлинеарность), расчёт корреляционных коэффициентов, оценка коэффициентов регрессии, анализ остатков и проверка адекватности модели.

Для построения диаграммы рассеяния скорректированного показателя эффективности и доли активно охраняемой площади лесов, значения доли активно охраняемой площади последовательно (от 0 до 1 с шагом 0,1, по оси  $x$ ) подставлялось в регрессионную формулу и полученное значение скорректированной эффективности наносилось на график (по оси  $y$ ).

Для дополнительного контроля построим график, показывающий как может меняться доля пожаров, возникших в зоне контроля лесных пожаров, от доли активно охраняемой площади.

Фрагмент результатов расчета для Республики Бурятия приведен в таблице ниже (таблица 6.3).

Таблица 6.3 – Фрагмент таблицы с исходными данными и результатами расчета по Республике Бурятия

Год	Лесничество	Доля активной охраны, $da_0$	Плотность населения, чел на тыс. га $\rho_{нас}$	Доля резервных лесов, $d_{рез}$	Средний класс природной пожарной опасности	Логарифм частоты возникновения лесных пожаров, $\ln N_p$	Логарифм относительной горимости лесов, $\ln S_{lp}$	Логарифм плотности населения $\ln \rho_{нас}$	Эффективность тушения	
									$e$	преобразованная, $e_2'$
2 004	Ангоянское	1	0,017086	0,52392718	4,79058839	0,940874	3,659286	-4,069496	0,16	-0,143068
2 005	Ангоянское	1	0,017086	0,52392718	4,79058839	1,952475	6,254859	-4,069496	-0,03	-0,143068
2 006	Ангоянское	1	0,017086	0,52392718	4,79058839	2,812676	6,949008	-4,069496	-0,36	-0,143068
2 007	Ангоянское	1	0,017086	0,52392718	4,79058839	2,039486	5,060841	-4,069496	-0,25	-0,143068
2 008	Ангоянское	1	0,017086	0,52392718	4,79058839	2,262630	5,841070	-4,069496	-0,22	-0,143068
2 009	Ангоянское	1	0,017086	0,52392718	4,79058839	1,952475	5,673048	-4,069496	-0,29	-0,143068
2 010	Ангоянское	1	0,017086	0,52392718	4,79058839	1,634021	4,640133	-4,069496	-0,20	-0,143068
2 011	Ангоянское	1	0,017086	0,52392718	4,79058839	2,327168	6,046146	-4,069496	-0,06	-0,143068
2 012	Ангоянское	0,997052	0,017086	0,52392718	4,79058839	0,653192	4,474617	-4,069496	-0,21	-0,143068
2 013	Ангоянское	0,997052	0,017086	0,52392718	4,79058839	2,119529	6,268605	-4,069496	-0,22	-0,143068
2 014	Ангоянское	0,997052	0,017086	0,52392718	4,79058839	2,550312	7,589645	-4,069496	-0,46	-0,143068
2 015	Ангоянское	0,997052	0,017086	0,52392718	4,79058839	3,404727	7,788874	-4,069496	-0,64	-0,143068
2 016	Ангоянское	0,156067	0,017086	0,52392718	4,79058839	3,051087	6,610103	-4,069496	-0,14	-0,143068
2 017	Ангоянское	0,156067	0,017086	0,52392718	4,79058839	2,645622	7,199145	-4,069496	-0,25	-0,143068
2 018	Ангоянское	0	0,017086	0,52392718	4,79058839	1,164018	2,090310	-4,069496	0,04	-0,143068
2 019	Ангоянское	0	0,017086	0,52392718	4,79058839	2,690074	8,303159	-4,069496	-0,44	-0,143068
2 020	Ангоянское	0	0,017086	0,52392718	4,79058839	1,346339	3,652441	-4,069496	-0,08	-0,143068
2 004	Бабушкинское	1	1,863497	0	3,06705544	1,909837	5,533448	0,622455	-0,11	-0,021460
2 005	Бабушкинское	1	1,863497	0	3,06705544	1,216690	4,572746	0,622455	-0,04	-0,021460
2 006	Бабушкинское	1	1,863497	0	3,06705544	2,826127	6,478799	0,622455	-0,48	-0,021460
2 007	Бабушкинское	1	1,863497	0	3,06705544	2,315302	4,964136	0,622455	-0,12	-0,021460
2 008	Бабушкинское	1	1,863497	0	3,06705544	2,315302	5,319436	0,622455	-0,45	-0,021460

Год	Лесничество	Доля активной охраны, dao	Плотность населения, чел на тыс. га рnas	Доля резервных лесов, drez	Средний класс природной пожарной опасности	Логарифм частоты возникновения лесных пожаров, lnNp	Логарифм относительной горимости лесов, lnSlp	Логарифм плотности населения lnрnas	Эффективность тушения	
									e	преобразованная, e2'
2 009	Бабушкинское	1	1,863497	0	3,06705544	1,216690	5,849922	0,622455	-0,29	-0,021460
2 010	Бабушкинское	1	1,863497	0	3,06705544	2,602984	5,954428	0,622455	-0,52	-0,021460
2 011	Бабушкинское	1	1,863497	0	3,06705544			0,622455		-0,021460
2 012	Бабушкинское	1	1,863497	0	3,06705544	1,216690	3,795739	0,622455	-0,30	-0,021460
2 013	Бабушкинское	1	1,863497	0	3,06705544	1,216690	4,427295	0,622455	-0,36	-0,021460
2 014	Бабушкинское	1	1,863497	0	3,06705544	2,826127	5,649283	0,622455	-0,46	-0,021460
2 015	Бабушкинское	1	1,863497	0	3,06705544	4,049903	8,382306	0,622455	-0,78	-0,021460
2 016	Бабушкинское	0,763145	1,863497	0	3,06705544	1,216690	5,893724	0,622455	-0,26	-0,021460
2 017	Бабушкинское	0,763145	1,863497	0	3,06705544	2,826127	7,549519	0,622455	-0,49	-0,021460
2 018	Бабушкинское	0,446771	1,863497	0	3,06705544			0,622455		-0,021460
2 019	Бабушкинское	0,446771	1,863497	0	3,06705544			0,622455		-0,021460
2 020	Бабушкинское	0,446771	1,863497	0	3,06705544	1,216690	4,354147	0,622455	-0,24	-0,021460
2 004	Байкальское	1	0,07159	0	4,15206580	3,003445	7,748075	-2,636800	0,10	-0,105935
2 005	Байкальское	1	0,07159	0	4,15206580	3,291127	7,452905	-2,636800	-0,09	-0,105935
2 006	Байкальское	1	0,07159	0	4,15206580	2,715763	6,083522	-2,636800	-0,05	-0,105935
2 007	Байкальское	1	0,07159	0	4,15206580	2,916434	7,967673	-2,636800	-0,15	-0,105935
2 008	Байкальское	1	0,07159	0	4,15206580	1,617151	4,055376	-2,636800	-0,13	-0,105935
2 009	Байкальское	1	0,07159	0	4,15206580	1,617151	6,204201	-2,636800	-0,19	-0,105935
2 010	Байкальское	1	0,07159	0	4,15206580	2,715763	6,965103	-2,636800	-0,12	-0,105935
2 011	Байкальское	1	0,07159	0	4,15206580	3,462978	8,770626	-2,636800	-0,28	-0,105935
2 012	Байкальское	1	0,07159	0	4,15206580	2,464449	5,167935	-2,636800	-0,09	-0,105935
2 013	Байкальское	1	0,07159	0	4,15206580	2,464449	5,204082	-2,636800	-0,15	-0,105935

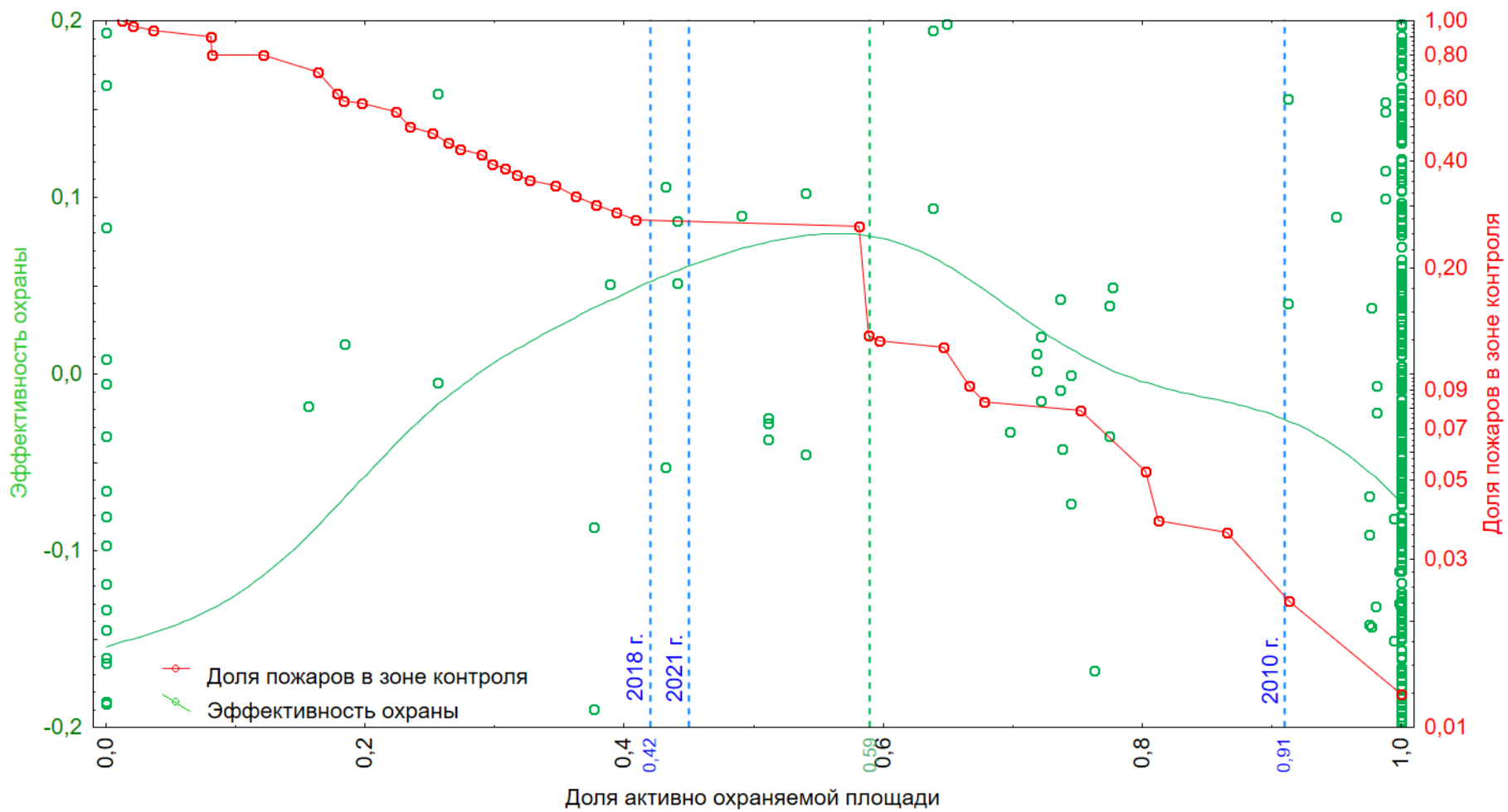


Рисунок 6.2 – Влияние доли активно охраняемой площади на показатель эффективности тушения для Республики Бурятия

Как видно из графика, значение сравнительной эффективности тушения при увеличении доли активно охраняемой площади растёт (больше пожаров тушится, что сокращает площадь, пройденную огнем). При определенном значении доли активно охраняемой площади ресурсов у лесопожарных формирований в ряде случаев уже не хватает и часть пожаров переходит в неконтролируемые (сравнительная эффективность работы лесопожарных формирований падает).

В данной ситуации логичным представляется выбор максимального значения графика функции. В рассматриваемом примере это значение 0,59, что можно считать оптимальным (при текущем уровне финансирования и обеспеченности ресурсами). Для расчёта рекомендуемой площади зон контроля воспользуемся формулой ( 21 ):

$$S_{зк} = S_{лф} \times (1 - dao) = 27010,6 \times (1 - 0,59) \approx \approx 11,1 \text{ млн га} \pm 1.1 \text{ млн га} \quad (21)$$

где  $S_{зк}$  – площадь зон контроля лесных пожаров;  
 $S_{лф}$  – площадь лесного фонда на территории Республики Бурятия;  
 $dao$  – доля активно охраняемой площади лесов.

Оптимальное значение площади зон контроля лесных пожаров на территории Республики Бурятия составляет 11,1 млн га  $\pm$  1.1 млн га. В настоящее время указанная площадь составляет 14,8 млн га. С учётом указанных выше расчётов рекомендуется сократить это значение на 18 %  $\div$  25 %.

Учитывая, что ошибка лесоустроительных данных, как и данных дистанционного зондирования Земли из космоса, может достигать до 10 %, полученный результат не может быть точнее.

Следует отметить, незначительное увеличение финансирования, в том числе субсидирование закупки лесопожарной техники, частично компенсируется инфляционными процессами и не оказывает принципиального влияния на результаты. Используемые в расчётах данные дистанционного наблюдения Земли из космоса полностью исключают влияние человеческого фактора, хотя и могут вносить дополнительную погрешность. Возможные ошибки могут быть связаны также с неточностью границ лесничеств, а также достоверностью

материалов лесоустройства. Результаты по остальным регионам приведены в приложении Г.

Полученные в ходе исследования результаты по оптимальной площади зон контроля лесных пожаров (таблица 6.4) оценивались экспертным путем, в том числе с использованием инструментария по визуализации пространственного расположения территорий, потенциально подверженных угрозе лесных пожаров [266, 268].

Таблица 6.4 – Предложения по корректировке площадей зон контроля лесных пожаров

Субъект Российской Федерации	Площадь зон контроля по состоянию на 2021 год, млн га	Оптимальное значение, млн га	Рекомендации по изменению площади зон контроля лесных пожаров
Красноярский край	121,0	120,6 ±12	Изменения не требуются
Иркутская область	28,3	21,5 ±2.2	Сократить на 16% ± 24%.
Забайкальский край	11,7	8,2 ±0,8	Сократить на 23% ÷ 30%
Республика Бурятия	14,8	11,1 ±1,1	Сократить на 18% ÷ 25%
Республика Саха (Якутия)	217,4	х	Изменения не требуются

Предложения по корректировке площадей зон контроля лесных пожаров учитывались при разработке приказа Рослесхоза от 26.01.2022 № 22 "Об установлении лесопожарного зонирования земель лесного фонда..." [272]. По итогам выполнения указанной работы получены свидетельства о государственной регистрации результатов интеллектуальной деятельности [264–268].

### 6.3 Статистические методы оценки интенсивности мер по тушению лесных пожаров

Следует отметить, что оценка эффективности работы на конкретных территориях только на основе суммарной площади, пройденной пожарами в конкретном году, не всегда является информативной, поскольку не учитывает

особенности горимости территорий в различные годы (в первую очередь метеорологическую ситуацию). В данном случае одним из путей получения объективной информации может быть анализ особенностей распределения пожаров, возникших на этих территориях в конкретные годы по площадям, которые они прошли. Работы в этом направлении уже выполнялись различными авторами [36, 113, 130, 131]. В ряде исследований показано, что распределение значения площадей природных пожаров, тушение которых производилось, может значительно отличаться от распределений площадей природных пожаров, тушение которых не велось. При этом распределение пожаров, тушение которых не велось, обычно близко к логнормальному распределению, а распределение пожаров, на которые оказывалось воздействие, может существенно отличаться от него. В то же время, следует отметить, что ведение подобных работ достаточно сильно ограничено наличием достоверной информации о реальных площадях, пройденных огнем, а также информации о том, проводилось или не проводилось тушение конкретного пожара.

В настоящее время в России имеются однородные архивы данных наблюдений лесных пожаров на всей территории Российской Федерации за период с 2001 года по настоящее время (система ИС ВЕГА-Лес (<http://forest.geosmis.ru/>) [211]. Как уже отмечалось, с 2005 года функционирует ИСДМ-Рослесхоз [2, 81, 87, 273, 274], которая фиксирует различные характеристики пожаров, детектированных на основе спутниковых данных, агрегирует информацию о пожарах с привязкой их местоположения к уровню охраны территорий, а также информацию о том, тушение каких пожаров не производилось или было прекращено. Анализ данной информации позволил нам сформировать выборки таких пожаров, с использованием которых было проведено исследование особенностей распределения пожаров по площадям в зависимости от уровня охраны территорий и информации о тушении/не тушении конкретных пожаров, включая данные о том, на каких территориях они были зарегистрированы.

Отметим, что сегодня существует ряд методов и подходов к оценке площадей лесных пожаров, краткий анализ которых приведен, например, в работе [209]. Учитывая специфику поставленной задачи, за основу был выбран метод, основанный на анализе результатов детектирования активного горения [2, 53, 217, 275–278] что, в частности, позволяет учитывать и те пожары, которые в результате своего воздействия не повредили лесной покров.

Для количественного учета пожаров в настоящее время в основном применяются данные, полученные от приборов MODIS (спутники Terra и Aqua) и VIIRS (спутник NPP), хотя для детектирования горения используется также информация и других спутниковых систем, имеющих каналы наблюдения в районе 3,7–3,9 мкм или близкие к ним. Для работы с такими данными разработаны полностью автоматизированные технологии обработки, обеспечивающие не только детектирование горения на отдельных сеансах наблюдения, но и временное отслеживание развития пожаров и анализ их особенностей (в том числе, контроль типов территорий, на которых они развиваются). В нашей стране такие решения созданы в частности в Институте космических исследований Российской академии наук (ИКИ РАН) [2, 53, 278, 279].

С учетом того, что природный, в особенности лесной, пожар может быть достаточно протяженным и длиться значительное время, ему обычно соответствует не одна горячая точка (выявленная по спутниковым данным автоматическими алгоритмами температурная аномалия, далее – ГТ), а некоторое их множество (в том числе детектированные разными спутниками в различное время). При этом площадь лесного пожара, как правило, не соответствует сумме площадей, детектированных ГТ. Обычно это связано с тем, что горение занимает не всю площадь ГТ или обнаруженные в разные моменты времени ГТ, могут полностью или частично перекрываться (подробнее это обсуждается в публикациях [53, 217, 218, 277, 280, 281]).

Для исключения такого рода ошибок проводится объединение всех наблюдаемых ГТ, соответствующих одному пожару в единый объект [53, 278, 282].

Далее используются специальные подходы, обеспечивающие коррекцию (перенормировку) этих оценок [53, 280].

Использование таких подходов позволяет получать достаточно адекватные оценки площадей, пройденных огнем и формировать базы данных долговременных наблюдений их динамики на территории России. Такие базы данных сегодня созданы в различных российских информационных системах. Одна из наиболее полных баз данных по покрываемому периоду имеется в упомянутой выше системе ИСДМ-Рослесхоз. В то же время следует отметить, что активное и практически непрерывное развитие системы ИСДМ-Рослесхоз, при неоднократном совершенствовании алгоритмов корректировки данных, привело к неоднородности многолетних архивов, связанных с постепенным внедрением как новых источников данных, так и новых схем их обработки. Во избежание погрешностей, из-за такой неоднородности данных, для выявления различных закономерностей, связанных с действием лесных пожаров и воздействиями на них, необходимо, как это уже использовалось нами при решении других диссертационных задач, анализировать максимально однородные ряды данных обработки, которая проводилась одними и теми же алгоритмами во всем анализируемом периоде. Поэтому здесь также как для анализа площадей, пройденных огнем, использовалась сформированная БД пожаров на основе упомянутых выше подходов в информационной системе ВЕГА-Лес (<http://forest.geosmis.ru/>) [211] (далее – БДП Вега-Лес) на основе данных, полученных с помощью прибора MODIS (шестая коллекция – МС6), установленного на спутниках Terra и Aqua [212]. Полученный из БДП Вега-Лес набор данных был также объединен с базой данных ИСДМ-Рослесхоз для получения атрибутов, характеризующих уровень охраны и воздействия на конкретный пожар. Это позволило в том числе сопоставить по каждому пожару (объединению ГТ, которые были детектированы за весь период его действия) данные лесопожарного зонирования и информацию о том, принимались или нет меры по его тушению согласно [261].

Таким образом, все пожары были разделены на следующие группы, существенно отличающиеся по уровню воздействия (уровню охраны):

- зона наземной охраны (далее обозначим как "Н");
- зона лесоавиационных работ (далее обозначим как "А");
- зона контроля лесных пожаров (далее обозначим как "ЗК");
- лесные пожары, по которым есть достоверные сведения, что пожар не тушился по решению КЧС (далее обозначим как "КЧС").

Согласно законодательным нормам [261], в зонах наземной и авиационной охраны лесов осуществляется тушение всех обнаруженных пожаров. В тоже время, очевидно, что в наземной зоне охраны, прежде всего, в силу хорошей доступности ее территорий, тушение обычно осуществляется более оперативно, чем в авиационной зоне. Это в большинстве случаев позволяет ликвидировать возникающие в наземной зоне пожары на относительно меньших площадях по сравнению с зоной авиационной охраны.

К зоне контроля (до 2015 года фактически она состояла из зон космического мониторинга первого и второго уровня) относятся территории, на которых осуществляется тушение лишь отдельных пожаров, которые угрожают объектам инфраструктуры. Значительная часть пожаров в этой зоне развивается под воздействием только естественных природных условий, и горение их ограничивается либо естественными преградами (например, водными объектами), либо выпадением интенсивных осадков. Очевидно, что такие пожары в этой зоне могут иметь большую площадь по сравнению с пожарами, тушение которых производилось.

С целью выявления особенностей различных статистических характеристик пожаров, которые могут быть связаны с воздействием на них (проведением работ по тушению), из всех имеющихся наблюдений были выбраны данные только о лесных пожарах, т.е. пожары, которые действовали на территории, хотя бы частично покрытой лесом. Для получения информации о лесном покрове

использовался ряд ежегодно обновляемых карт по всей территории Российской Федерации, содержащих информацию об основных типах лесного покрова [167]. Именно для таких пожаров в настоящее время имеются достаточно надежные методы оценки площадей, пройденных огнем (см. например, [53, 209, 280]). На основе этих данных были сформированы выборки пожаров по территориям с различными уровнями охраны ("Н", "А", "ЗК", "КЧС"). При этом в данные выборки вошло значительное число пожаров ("Н" – 144344, "А" – 231164, "ЗК" – 24687, "КЧС" – 9350). Таким образом в целом анализировалась информация о 461353 пожаре, которые действовали на территории Российской Федерации в период с 2001 по 2021 годы. Кроме того, отсортировав все годы по пройденной огнем площади, они были разделены медианой на две группы ("годы высокой горимости" и "годы низкой горимости"). Соответствующий признак также был добавлен в анализируемую выборку.

Для каждой из обсуждаемых групп были построены плотности вероятности их распределения по площадям. При этом учитывалось, что распределение числа пожаров по площадям происходит неравномерно и пожаров с малой площадью гораздо больше, чем с большой площадью. Поэтому величина интервалов для расчета плотности вероятности, по которым производилось накопление данных, логарифмически увеличивалась при увеличении площадей лесных пожаров. Такой подход обеспечивал примерно равную статистическую ошибку плотности вероятности для пожаров различной площади.

График плотности вероятностей распределения пожаров по площадям для каждой зоны охраны представлен ниже (рисунок 6.3). Следует также обратить внимание на следующую особенность, которая наблюдается на представленных графиках – пик, появляющийся в районе площади в 100 га. Этот пик возникает из-за того, что при построении контуров пожаров используются данные прибора MODIS, минимальное пространственное разрешение которого примерно 1 x 1 км (площадь пиксела порядка 100 га). В таком случае в распределение этой площади попадает значительное число пожаров, площадь которых меньше 100 га, поэтому

данный пик не следует считать значимым. Площадь "аккумулированная" в нем следует "распределить" по диапазону пожаров с площадью менее 100 га. Также следует учитывать, что область площадей менее 100 га формируется за счет пересечения областей горения с масками территорий, покрытых лесом, то есть в основном определяется не столько особенностями конкретных пожаров, сколько переходом их между участками покрытых и не покрытых лесом. Учитывая эти особенности, при проведении анализа полученных плотностей вероятностей распределения пожаров, в основном стоит анализировать данные в области более 100 га.

В целом по графику (рисунок 6.3) достаточно хорошо видно, что распределения пожаров по площадям заметно отличаются для зон с различным уровнем охраны. Так, чем ниже в зоне уровень охраны (воздействия на пожары), тем больше распределения сдвигаются в область пожаров с большой площадью. Наибольший сдвиг в область больших площадей имеет распределение, соответствующее выборке пожаров, тушение которых не проводилось или было прекращено (пожары КЧС). Также хорошо видно, что распределения, соответствующие зонам с более низким уровнем охраны, "приближаются" к пожарам группы КЧС и имеют большие значения в области больших площадей. Такое поведение полученных распределений полностью соответствует общей логике развития пожаров в зонах с различным уровнем охраны.

Для более детальной оценки различий в распределениях для разных зон охраны может быть использована квантиль-квантиль (Q-Q) график [283]. Он строится следующим образом: по одной оси (обычно  $x$ ) откладывается интеграл плотности вероятности распределения, с которым происходит сравнение в диапазоне значений от 0 до 1 обычно с равномерным шагом. Для каждого значения  $a$  интеграла данного распределения вычисляется значение параметра  $b$ , по которому данное распределение строилось (в нашем случае площадь пожара) и при котором интеграл плотности вероятности принял значение  $a$ . Далее

вычисляется интеграл плотности вероятности распределения  $y$ , сравнение которого производится по интервалу  $0-b$ . Это значение принимает график в точке  $a$  оси  $x$ .

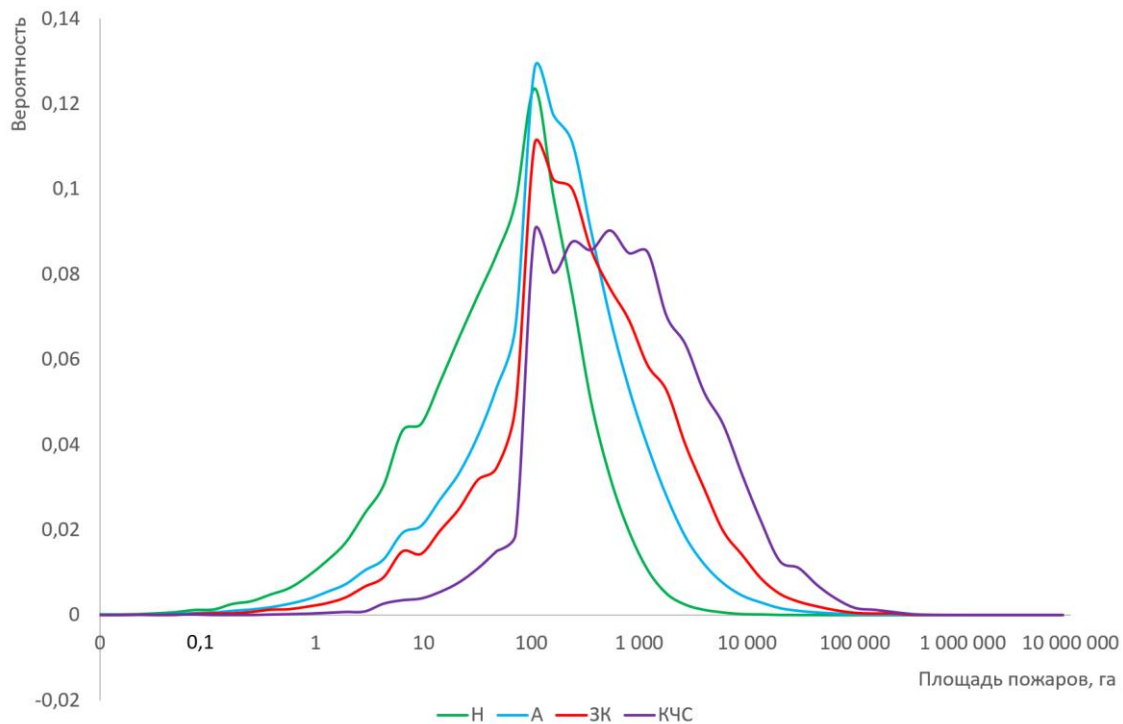


Рисунок 6.3 – График плотности распределения лесных пожаров по площадям в зонах с разным уровнем охраны

В качестве опорного нами было выбрано распределение пожаров, по которым тушение было прекращено решением КЧС. Для него были построены графики вероятность/вероятность для распределений, полученных в зонах Н, А, ЗК, на которых видно их различие (рисунок 6.4). При этом видно, что чем выше уровень охраны в анализируемой зоне, тем больше Q-Q график отличается от зависимости  $x=y$ , которая соответствует распределению пожаров, по которым тушение было прекращено решением КЧС. Отметим, что, если сравниваемый график идет над прямой  $y=x$ , то это означает, что в анализируемом распределении имеется большее число пожаров меньшей площади, чем в распределении пожаров, закрытых по решению КЧС. Вид графиков (рисунок 6.4) позволяет предположить, что отклонение линии от опорной (пунктиром) может рассматриваться как характеристика уровня охраны лесов от пожаров на рассматриваемой территории.

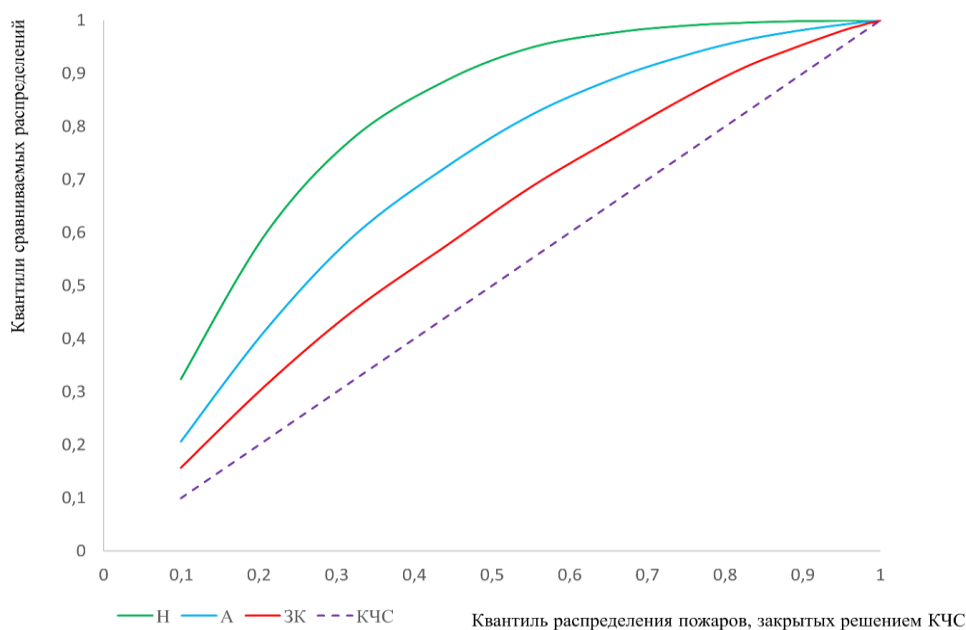


Рисунок 6.4 – Q-Q график сравнения распределений площадей лесных пожаров в зонах с различным уровнем охраны с распределением пожаров, закрытых по решению КЧС

Как видно из графика, уровень охраны от пожаров в авиазоне выше, чем в зоне контроля, а в наземной зоне – выше, чем в авиазоне.

Для того чтобы оценить, изменяются ли вид и характеристики распределений пожаров по площадям для территорий с различными уровнями лесопожарной охраны при различных условиях возникновения и действия пожаров были проанализированы распределения пожаров по площадям в годы высокой и низкой горимости. К годам высокой горимости были отнесены: 2002, 2003, 2008, 2011, 2012, 2014, 2016, 2018, 2019, 2020, 2021 годы, остальные – к годам низкой горимости. Для этих групп годов были построены распределения пожаров по площадям для каждой из анализируемых зон охраны и для группы пожаров, закрытых по решению КЧС (рисунок 6.5).

Из рисунка видно, что соотношение пожаров с большей площадью и пожаров с меньшей площадью существенно зависит от уровня охраны. В частности, больше сравнительно "крупных" пожаров среди пожаров, которые не тушились; далее следуют зоны контроля, затем авиационная зона. Меньше всего крупных пожаров в наземной зоне.

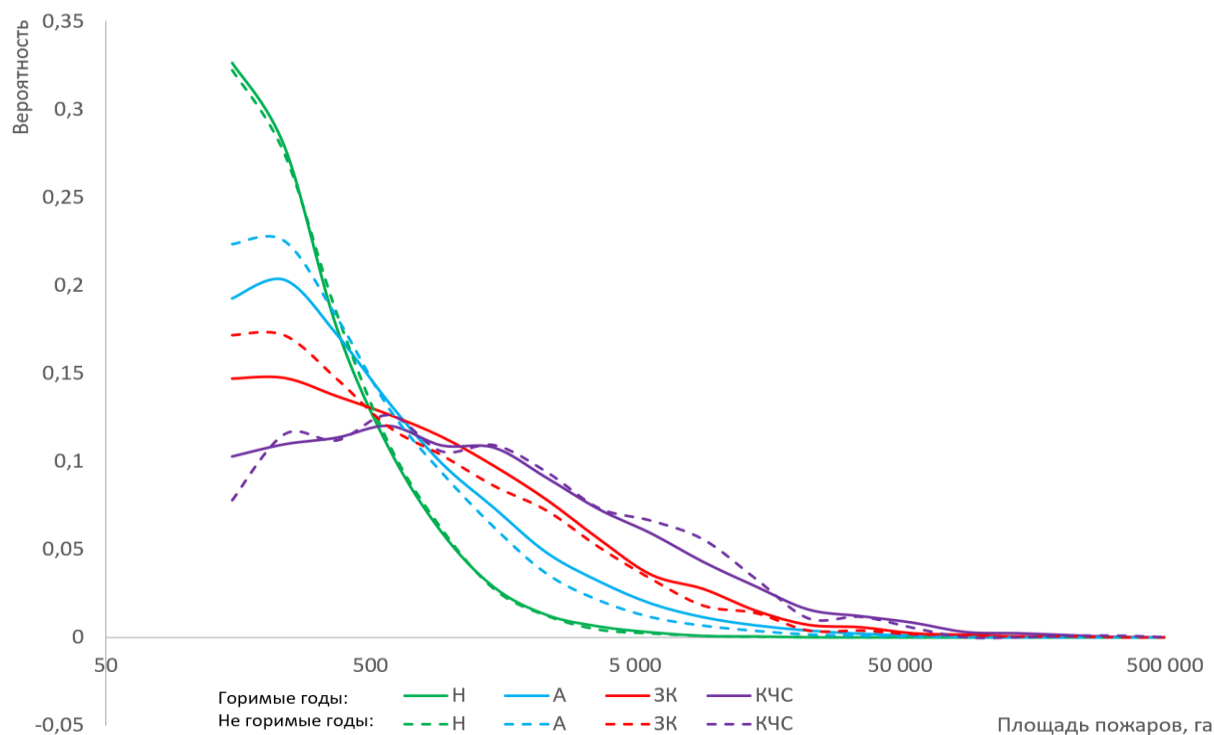


Рисунок 6.5 – Распределения пожаров по площадям в различных зонах охраны и пожаров, закрытых по решению КЧС, построенные для групп годов высокой и низкой горимости

В наземной зоне различия между вероятностями возникновения пожаров в годы с разной горимостью минимальны, тогда как в авиационной зоне и зонах контроля значения вероятностей при высокой горимости устойчиво выше, чем в годы низкой горимости.

Для пожаров, закрытых по решению КЧС, которые не тушились, различия менее устойчивы, чем для двух предыдущих зон, что связано с существенно меньшей выборкой. Дополнительным подтверждением этого может служить то, что имеются интервалы, когда большая площадь пожаров по графику даже более вероятна. Вместе с тем даже визуально видно, что различие вероятностей возникновения более крупных пожаров в годы повышенной горимости в авиазоне и в зоне контроля выше. Так как пожары, закрытые решением КЧС, как в годы с высокой горимостью, так и в годы с низкой горимостью не тушатся, то можно предположить, что пожары данной группы в годы с разным уровнем горимости действуют в "среднем" в сопоставимых условиях. Это позволяет использовать

интегральное распределение таких пожаров во все годы анализа для оценки поведения распределения пожаров в зонах с различными уровнями охраны и характером горимости, что повысит достоверность результатов.

Также были построены Q-Q графики сравнения распределений пожаров в зонах с различным уровнем охраны с распределением пожаров, закрытых по решению КЧС (рисунок 6.6). На графиках представлена только значимая часть распределений в области более 100 га (чтобы исключить влияние технических ограничений сенсоров съёмочной аппаратуры, которые на малых площадях показывают значительные ошибки).

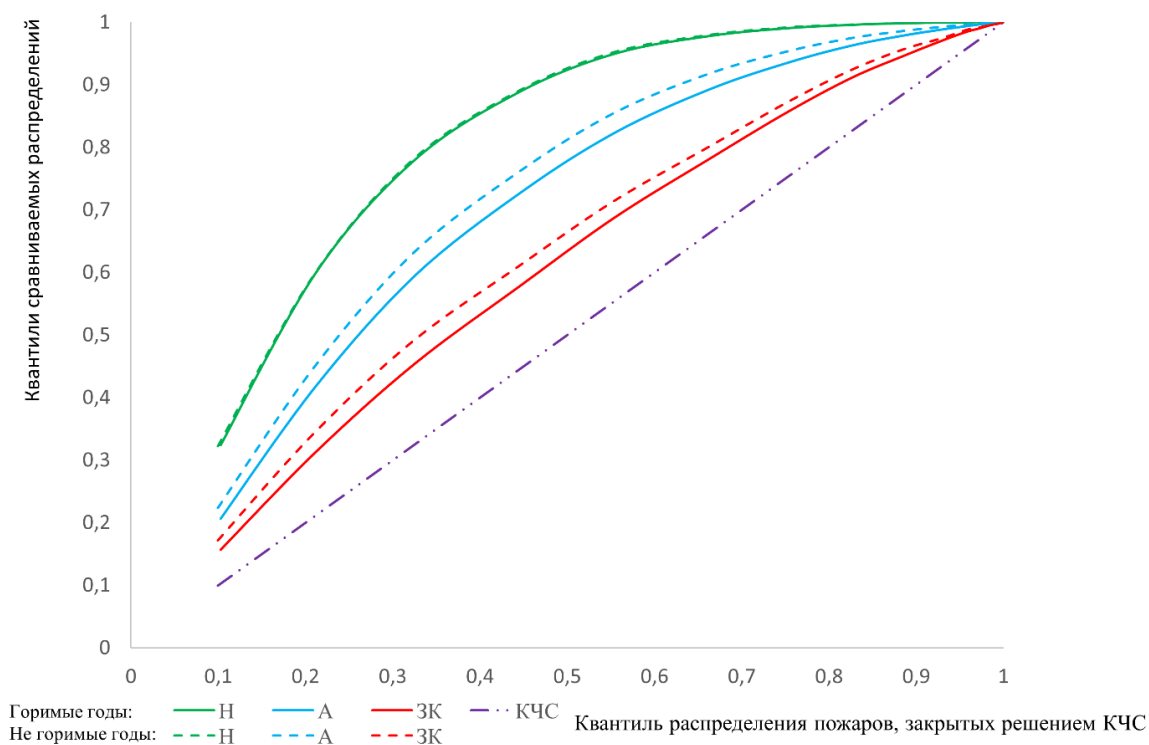


Рисунок 6.6 – Q-Q графики сравнения распределений пожаров по площадям в различных зонах охраны для годов высокой и низкой горимости с распределением, полученным по выборке пожаров, закрытых по решению КЧС во все годы, для которых проводился анализ

Как видно из графиков (рисунок 6.5 и рисунок 6.6) для годов как низкой, так и высокой горимости, сохраняются общие закономерности формы распределения пожаров по площадям в зонах с различным уровнем охраны (т.е. для зон с более слабым уровнем охраны, график смещен вправо). Связано это с тем, что при

понижении уровня охраны повышается относительное число пожаров с большой площадью и Q-Q графики "приближаются" к графику пожаров, закрытых по решению КЧС.

В то же время следует отметить, что в годы высокой горимости Q-Q графики для всех зон лежат "ближе" к графику пожаров, закрытых по решению КЧС. Особенно хорошо это выражено для зоны авиационной охраны и зоны контроля. Для этих зон также заметно уменьшается процент пожаров малой площади и увеличивается процент пожаров большой площади, что может быть связано в первую очередь с тем, что в годы высокой горимости на большем числе территорий имеются неблагоприятные условия для развития пожаров и большее число пожаров (по сравнению с годами низкой горимости) фактически не контролируются.

Заметное увеличение процента пожаров, проходящих достаточно большие площади, и смещение Q-Q графика в сторону графика пожаров, закрытых по решению КЧС, характерно для зоны авиационной охраны. Это может свидетельствовать о том, что ресурсов, необходимых для эффективного тушения пожаров в данной зоне, в годы высокой горимости недостаточно для организации и проведения эффективного тушения лесных пожаров.

Нельзя также не отметить, что как распределения пожаров, так и Q-Q графики для зоны наземной охраны в годы высокой и низкой горимости мало отличаются. Это может свидетельствовать, в частности, о том, что даже при ухудшении лесопожарной обстановки в данной зоне действия по предупреждению и тушению лесных пожаров, видимо, не теряют эффективность.

Представленный выше визуальный анализ графиков может, безусловно, быть дополнен численным анализом близости анализируемых распределений площадей пожаров в различных зонах охраны, к заданному (в рассматриваемом случае – к распределению пожаров, тушение которых не проводилось). Пример использования таких возможных критериев для выборок данных, полученных

в настоящей работе, представлен ниже (таблица 6.5). Все указанные в таблице значения являются статистически значимыми на уровне  $p < 0.05$ .

Как видно из представленной таблицы, отличия между распределениями площадей пожаров в годы низкой и высокой горимости меньше в наземной зоне (по критерию Колмогорова Смирнова 0,001), чем в зоне контроля лесных пожаров (0,049). В авиационной зоне отклонение больше всего (0,06), что предположительно связано с тем, что на тушение не хватает имеющихся ресурсов ( $0,264 < 0.324$ ).

Таблица 6.5 – Результаты расчета критерия близости распределений площадей пожаров в рассматриваемых зонах к выборке пожаров, которые не тушились во все годы, для которых проводился анализ

Критерий	Зона наземной охраны (Н)	Зона авиационной охраны (А)	Зона космического мониторинга (зона контроля лесных пожаров) (ЗК)
Годы низкой горимости			
Объем выборки	24973	59647	6958
Критерий серий Вальда-Вольфовица, Z	61,047	32,102	7,223
Критерий Колмогорова-Смирнова, $D^+_n - D^-_n$	0,470	0,324	0,175
Годы высокой горимости			
Объем выборки	20999	76555	10477
Критерий серий Вальда-Вольфовица	56,011	19,105	4,772
Критерий Колмогорова-Смирнова, $D^+_n - D^-_n$	0,471	0,264	0,126
Все годы			
Объем выборки	45972	136202	17435
Критерий серий Вальда-Вольфовица, Z	68,718	21,208	6,105
Критерий Колмогорова-Смирнова, $D^+_n - D^-_n$	0,470	0,290	0,142

Данные заключения в целом согласуются как с логикой изменения лесопожарной обстановки в годы низкой и высокой горимости, так и с особенностями пожаров на территориях с различным уровнем охраны.

Обобщив вышеизложенное, можно сказать, что при оценке эффективности работ по воздействию (тушению) лесных пожаров может, в том числе, использоваться анализ особенностей распределения пожаров по площадям. При этом одним из подходов к проведению такого анализа может стать сравнение наблюдаемых распределений пожаров по площадям с распределением, характерным для пожаров, воздействие на которых не проводилось.

Установленные закономерности позволяют делать выводы об эффективности противопожарных мероприятий, выполняемых на различных территориях. В перспективе на основе их анализа могут быть разработаны численные критерии оценки эффективности мероприятий по охране от пожаров.

### **Выводы по главе 6:**

1. В ходе исследования впервые разработана методика оценки сравнительной эффективности организации охраны лесов от пожаров, отличающаяся тем, что учитывается взаимное сочетание как результативности работ (пройденной огнем площади), так и погодных факторов (напряженности пожароопасного сезона).

2. Взаимосвязь показателя сравнительной эффективности и доли активно охраняемой площади может стать критерием установления оптимальных значений площадей зон контроля лесных пожаров.

3. Форма распределения значений площади, пройденной огнем, тем дальше от логнормальной, чем интенсивнее принимались меры по тушению пожаров (ближе в зоне контроля, далее – авиационная зона и только потом – наземная зона).

4. Выявленная взаимосвязь формы распределения площадей лесных пожаров и интенсивности мер, принимаемых для тушения, в целом сохраняется независимо от того, рассматриваются горимые годы или годы пониженной горимости.

5. Отличие формы распределения в горимые годы и в годы пониженной горимости больше всего в зоне авиационной охраны, что предположительно, связано с тем, что на тушение не хватает имеющихся ресурсов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В диссертационном исследовании на основе системного анализа научных источников доказана – особенно в связи с прогнозируемыми тенденциями климатических изменений – актуальность необходимости повышения эффективности системы охраны лесов от пожаров, к одному из факторов успешного функционирования которой относится информационно-аналитическое обеспечение управленческих решений по всем направлениям лесопожарной деятельности. В условиях необходимости повышения эффективности управления в сфере охраны лесов возрастает значимость достоверной информации о лесопожарной обстановке в стране и регионах, а также адекватной нормативной правовой базы по обеспечению пожарной безопасности в лесах. Многочисленными исследованиями ученых и практиков созданы научные основы, оригинальные практические методы и технологии по всему спектру лесопожарных мероприятий, обеспечивающие на протяжении длительного периода времени необходимый уровень охраны лесов. Вместе с тем накопленный опыт осуществления мероприятий охраны лесов от пожаров, требования действующего лесного законодательства, а также оценки соответствующих контролирующих органов по его соблюдению, свидетельствуют о необходимости корректировки созданных ранее и разработки новых методов и нормативов, направленных на совершенствование информационной базы как научной основы повышения качества управления в сфере лесопожарной безопасности. В современных условиях благодаря накоплению больших массивов данных и активному внедрению информационных технологий, существуют уникальные возможности для решения указанных задач, которые сдерживаются отсутствием целевых алгоритмов обработки информации. Из всего комплекса проблемных вопросов нами рассмотрены и предложены решения по совершенствованию лесопожарного

зонирования, в части выделения зон контроля, оценки горимости лесов и пожарной опасности в лесах, прогнозирования возникновения лесных пожаров и динамики лесопожарной ситуации, выявления искажений в лесопожарной отчетности и анализа эффективности системы охраны лесов от пожаров.

По итогам исследований разработана система перспективных мер, направленных на повышение эффективности информационного обеспечения охраны лесов от пожаров для различных уровней исполнительных органов государственной власти в области лесных отношений.

Результаты изучения на основе больших объемов выборочных данных, показателей, характеризующих горимость лесов, впервые показали, что в большинстве случаев они, на больших временных и пространственных отрезках вполне адекватно описываются логнормальным законом распределения, позволяя существенно расширить перечень информационных продуктов, которые могут быть использованы в целях принятия управленческих решений. Для достоверной оценки горимости лесов рекомендуемая оптимальная глубина ретроспективной выборки исходных данных должна быть кратной 11 годам, что позволит обеспечить снижение ошибок в оценках среднесрочных данных, связанных с периодическими изменениями горимости.

Информация о форме распределения количества и площадей пожаров может использоваться как для фильтрации аномальных данных, так и для оценки достоверности сведений о лесных пожарах, представляемых субъектами Российской Федерации в ФДС.

Из ряда показателей, наиболее часто искажаемых при отчетности, являются сведения о количестве лесных пожаров и количестве пожаров, ликвидированных в первые сутки. В целях их проверки разработан метод на основе критерия Шапиро-Уилка, который позволяет формировать рейтинг субъектов Российской Федерации с точки зрения достоверности сведений о лесных пожарах.

Исследование закономерностей горимости лесных территорий дало возможность разработать методологию, позволяющую разделить территорию

лесного фонда Российской Федерации на группы с одинаковой повторяемостью пиков горимости, что может быть использовано для проработки стратегических решений по организации тушения лесных пожаров в стране. Показано, что повышенная горимость лесов отмечается в регионах Сибири и Дальнего Востока: в среднем через каждые 2 года в Восточно-Сибирском таежном мерзлотном и Среднесибирском плоскогорном таежном районах (в границах Иркутской области); каждые 3 года – в Дальневосточном таежном районе Амурской области, Дальневосточном районе притундровых лесов и редкостойной тайги Камчатского края, Байкальском горном лесном районе в границах Республики Бурятия; каждые 4 года – в Дальневосточном таежном районе в границах Хабаровского края, Дальневосточном районе притундровых лесов и редкостойной тайги в границах Чукотского автономного округа, Западно-Сибирском подтаежно-лесостепном районе в границах Новосибирской области. К сожалению, на 40 % территории лесного фонда установить доминирующий период повторяемости циклов горимости по имеющимся статистическим данным, достоверно пока невозможно.

Разработанный подход позволяет на регулярной основе (ежегодно) оценивать уровень горимости лесных территорий. Так, по данным расчетов, в 2023 году территории с чрезвычайной горимостью составляли 19 % площади лесов ("невысокая" горимость). В целом по Российской Федерации площадь, пройденная огнем, устанавливаемая ИСДМ-Рослесхоз, увеличивается ежегодно в среднем на 196,7 тыс. га, что следует рассматривать как отрицательную тенденцию и учитывать при стратегическом планировании мер по обеспечению пожарной безопасности в лесах.

Анализ подходов к оценке пожарной опасности в лесах показал, что в силу различных методических подходов (в частности, к учету осадков), различий природно-климатических условий территорий и разной плотности метеостанций в регионах, значения индексов, рассчитанные по действующим алгоритмам оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды, существенно отличаются. В связи с этим актуальным является совершенствование региональных подходов

к оценке пожарной опасности с учетом адекватности используемых алгоритмов реальным рискам возникновения лесных пожаров.

Нами данный вопрос рассмотрен на примере классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды, которая характеризуясь высокой динамичностью, определяет работу лесопожарных формирований, систему авиапатрулирования лесов, оптимизацию затрат на мероприятия, связанные с охраной лесов от пожаров. Для этих целей до настоящего времени используются методики В.Г. Нестерова, ПВ-1 и ПВ-2, расчет значений которых в настоящее время автоматизирован в ИСДМ-Рослесхоз; в редких случаях применяется шкала ПВГ. Преимущество отдается методике В.Г. Нестерова и классическим границам классов в шкале пожарной опасности по условиям погоды.

Исходя из регионального подхода, доказана целесообразность разработки отдельных (региональных) шкал опасности по условиям погоды. Известно, что Рослесхозом, на основании поступивших предложений, ранее были утверждены граничные значения классов пожарной опасности в лесах по условиям погоды для 15 субъектов Российской Федерации. Однако при отсутствии единых методических подходов и надлежащего контроля реализации данных предложений, на практике зачастую пошли по пути необоснованного занижения границ классов опасности, что стало причиной сокращения количества летних часов на авиапатрулирование лесов и, соответственно, ухудшения качества мониторинга пожарной опасности в лесах и обнаружения лесных пожаров. По результатам исследований предложен унифицированный подход к расчету региональных шкал оценки пожарной опасности в лесах по условиям погоды и обоснованию границ классов опасности для разных регионов страны, в том числе с учетом специфики пожароопасных сезонов, что позволит исключить субъективный подход к данным оценкам. Доказана экономическая целесообразность перехода к использованию предложенных шкал, прежде всего,

за счет снижения затрат на тушение крупных лесных пожаров вследствие их своевременного обнаружения.

Результаты исследования позволили предложить комплекс параметров для описания характера прохождения пожароопасного сезона в лесах, таких как сроки начала и завершения сезона, его продолжительность и его напряженность (доля дней с повышенным классом пожарной опасности в лесах по условиям погоды). Впервые разработан метод прогноза указанных параметров, основанный на использовании методов прогнозирования временных рядов (NaiveForecaster, AutoETS, AutoARIMA, BATS, MLP) с определением минимального значения средней величины среднеквадратической ошибки, которая служит критерием для выбора прогнозных значений параметров пожароопасного сезона. Расчетная оправдываемость прогноза для лесничеств и субъектов Российской Федерации составляет 80 – 83 %; средняя абсолютная ошибка определения даты начала пожароопасного сезона –  $\pm 6 - 8$  дней (5 – 7 %), даты завершения сезона –  $\pm 9 - 10$  дней (3 – 4 %), продолжительности пожароопасного сезона –  $\pm 11 - 13$  дней (8 – 11 %). Прогноз напряженности пожароопасного сезона устанавливается с относительной ошибкой 15 – 21 %, при этом необходимо учитывать весовой коэффициент метеостанции, определяемый долей площади зоны ее действия в общей площади территории субъекта Российской Федерации. Следует отметить, что прогноз по разработанной методике более достоверный, чем при использовании сравнения со среднемноголетним значением, а его точность достаточна для использования в качестве дополнительного источника информации на этапе подготовки к пожароопасному сезону.

На основе моделирования взаимосвязи между индексами пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды и частотой возникновения лесных пожаров, впервые разработаны методические подходы краткосрочного прогноза частоты возникновения лесных пожаров, учитывающие лесорастительные условия территории и горимость лесов в течение пожароопасного сезона. С использованием предложенного показателя

результативности прогнозных расчетов показано, что точность прогноза повышается при увеличении площади оцениваемой территории.

Впервые разработана методика оценки сравнительной эффективности организации охраны лесов от пожаров, учитывающая сочетание как результативности работ (пройденной огнем площади), так и погодных факторов (напряженности пожароопасного сезона). Для этой цели предложено использовать не сами величины горимости и напряженности пожароопасного сезона, а их отклонения от минимальных и максимальных значений за последние 11 лет.

Указанный показатель может использоваться для определения оптимальной площади зон контроля лесных пожаров, устанавливаемых в районе применения авиационных сил и средств пожаротушения. На территории указанных зон МЧС органа исполнительной власти субъекта Российской Федерации может быть принято, согласно действующему законодательству, решение о прекращении, или приостановке работ по тушению лесного пожара при отсутствии угрозы населенным пунктам или объектам экономики в случаях, когда прогнозируемые затраты на тушение лесного пожара превышают прогнозируемый вред, который может быть им причинен.

Учитывая полученные в ходе исследования закономерности формы статистического распределения площадей пожаров и выявленные зависимости их взаимосвязи с формой распределения площадей пожаров, которые не тушились, предложен и обоснован подход к оценке интенсивности мер принимаемых для тушения лесных пожаров.

Таким образом можно констатировать, что решена научная проблема по созданию теоретических основ новых методов автоматизированного анализа лесопожарной информации на основе лесорастительного районирования и алгоритмов машинного обучения. Внедрение разработанных алгоритмов и технологий повышает эффективность ключевых управленческих решений федерального уровня в области борьбы с пожарами.

Полученные результаты открывают новую эпоху информационного обеспечения, когда, обрабатывая накопленную информацию, можно получать статистически значимые численные рекомендации. Это сократит количество возможных ошибок, снизит влияние человеческого фактора, а также повысит качество управленческих решений.

### **Предложения производству:**

Полученные данные и предложенные разработки могут быть использованы в текущей деятельности федеральных и региональных органов исполнительной власти, уполномоченных в области лесных отношений, а также подведомственных им лесопожарных формирований, для информационной поддержки управленческих решений при организации и обеспечении мероприятий по охране лесов от пожаров, а также в учебном процессе при подготовке специалистов для лесного хозяйства. В частности:

- разработанные в ходе исследования методики и алгоритмы могут быть внедрены в Информационную систему дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз);

- разработанная методика классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды оформлена в формате проекта приказа Минприроды России и проходит юридические процедуры межведомственного согласования;

- прогноз основных параметров пожароопасного сезона может использоваться для долгосрочного стратегического планирования мероприятий по организации охраны лесов от пожаров;

- краткосрочный прогноз частоты возникновения лесных пожаров может быть использован при принятии решений о межрегиональном маневрировании ресурсами пожаротушения;

- показатель эффективности организации охраны лесов от пожаров может стать ключевой метрикой в подсистеме интеллектуального анализа Федеральной

государственной информационной системой лесного комплекса (ПИА ФГИС ЛК) и использоваться Рослесхозом для планирования контрольно-надзорных мероприятий в сфере охраны лесов от пожаров.

Результаты исследований, проведенных под научным руководством либо при личном участии автора, использованы для выполнения 2 тем государственного задания Рослесхоза ФБУ ВНИИЛМ, 2 государственных контрактов с Минприроды России, 1 хозяйственного договора с исполнительными органами государственной власти субъектов Российской Федерации и 2 коммерческих договоров с частными научно-производственными компаниями (Приложение Ж).

Результаты, полученные в ходе работ, приняты заказчиком, что подтверждается в т.ч. информацией на официальном сайте Единой государственной информационной системы учета научно-исследовательских, опытно-конструкторских и технологических работ гражданского назначения (ЕГИСУ НИОКТР, <https://gisnauka.ru/>).

По результатам исследований получено 18 самостоятельных результатов интеллектуальной деятельности (РИД), их них: 17 свидетельств о государственной регистрации баз данных и программ для ЭВМ, одно зарегистрированное ноу-хау (приложение Е).

Отдельные результаты, полученные в ходе работы над диссертацией, внедрялись обособленно` как самостоятельные научные результаты (приложение Д). Одно из специфических свойств информационных технологий заключается в том, что некоторые алгоритмы, методики и наработки могут частично входить в другие информационные продукты, которые напрямую не относятся к рассматриваемому исследованию, но также внедряются в практику. В частности, автором оформлены (косвенно относящиеся к теме) еще 11 свидетельств о регистрации баз данных и программ для ЭВМ по смежной тематике. Общий перечень всех зарегистрированных результатов интеллектуальной деятельности автора диссертации составляет более 35 позиций и доступен на сайте РИНЦ ([elibrary.ru](http://elibrary.ru)).

## ПЕРЕЧЕНЬ СОКРАЩЕНИЙ И ОБОЗНАЧЕНИЙ

В настоящей работе применяют следующие сокращения и обозначения:

А	– зона авиационного мониторинга (элемент лесопожарного зонирования)
ЗК	– зона контроля лесных пожаров (элемент лесопожарного зонирования)
КЧС	– пожары, по которым решением КЧС принято решение о нецелесообразности тушения
Н	– зона наземной охраны
FRO (FRO-2, FRO-3)	– программный продукт для учета лесных пожаров, разработанный в ФБУ СПбНИИЛХ
FWI	– пожарный погодный индекс, разработанный для Аляски (часть Канадской CFFDRS)
FWS	– учреждение в США
Gaussian Mixture	– статистическое вероятностное распределение
HIRLAM	– модель атмосферы
hot-spot	см. горячая точка
HRRR-Smoke	(англ. – система мониторинга задымления воздуха
High-Resolution Rapid Refresh-Smoke)	
MODIS	– спутниковый инструмент, предназначенный для получения спектральных изображений отражения с дневной части земной поверхности и дневного/ночного излучения в каждой точке поверхности Земли, как минимум, каждые два дня

NFDRS	– национальная система оценки пожарной опасности в США
NPP	– спутник (США) – территория, которая в случае возникновения
PCL (англ. potential control locations)	лесного пожара предположительно будет оставлена для прогорания. Предполагается, что пожар будет контролироваться в рамках этой территории
POD (англ. potential operational delineations)	– концепция принятия управленческих решений в области охраны лесов от пожаров на основе потенциальных оперативных разграничений – вероятность получить для данной вероятностной модели распределения значений случайной величины такое же или более экстремальное значение статистики (среднего арифметического, медианы и др.), по сравнению с ранее наблюдаемым, при условии, что нулевая гипотеза верна
p-value	– семейство спутников дистанционного зондирования Земли Европейского космического агентства, созданное в рамках проекта GMES (Глобальный мониторинг в интересах охраны окружающей среды и безопасности) программы "Коперник"
Santinel	
Statistica	– статистическое программное обеспечение
Suomi NPP	– американский метеорологический спутник, управляемый NOAA – интерактивный web-сервис, который позволяет
Yandex DataLens	подключаться к различным источникам данных, строить визуализации, собирать дашборды и делиться полученными результатами

БДП Вега-Лес	– база данных пожаров в информационной системе Вега-Лес
БПЛА	– беспилотный летательный аппарат
В.Г. Нестерова	– советский лесовод, член-корреспондент ВАСХНИЛ (1956), автор методики оценки пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды
ГУ ЧС	– главное управление МЧС России по субъекту Российской Федерации
Датасет	– элемент сервиса Yandex DataLens, описание набора данных из источника
Дашборд	– элемент сервиса Yandex DataLens, набор чартов, селекторов для фильтрации данных и текстовых блоков
ДЗЗ	– данные дистанционного зондирования Земли
ЕДДС	– единая дежурно-диспетчерская служба
ИКИ РАН	– Институт космических исследований Российской академии наук
ИС ВЕГА-Лес	– Информационная система, созданная и функционирующая на основе инфраструктуры Центра коллективного пользования "ИКИ-Мониторинг"
ИСДМ-Рослесхоз	– Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства
КПО	– класс пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды
КППО	– класс природный пожарной опасности лесов
КЧС и ПБ	– (КЧС, КЧСиОПБ)

ПВ-1	– показатель влажности напочвенного покрова (индекс, характеризующий пожарную опасность в лесах в зависимости от условий погоды)
ПВ-2	– показатель влажности подстилки (индекс, характеризующий пожарную опасность в лесах в зависимости от условий погоды)
ПВГ	– показатель влажности зеленых мхов с учетом их гигроскопичности
ФГИС ЛК	– Федеральная государственная информационная система лесного комплекса
ФГУ	– Федеральное бюджетное учреждение
ФКУ НЦУКС	– Национальный центр управления в кризисных ситуациях (орган повседневного оперативного управления силами и средствами единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций) в г. Москве
Чарт	– элемент сервиса Yandex DataLens, визуализация данных из источника данных, датасета в виде таблиц, диаграмм и карт

## ПЕРЕЧЕНЬ ТЕРМИНОВ

В настоящей работе применяют следующие термины с соответствующими определениями:

- Вычислительный эксперимент** – это эксперимент, проводимый не над исходным реальным объектом, а над его математической (информационной, имитационной) моделью с помощью вычислительных и логических процедур, осуществляемых программными средствами на вычислительных системах (компьютерах).
- Доминирующий период** – это характеристика временного ряда данных или сигнала, которая указывает на временной интервал, в течение которого повторяются основные колебания или циклы. Он определяется как обратная величина к доминирующей частоте в спектре сигнала.
- Зона контроля лесных пожаров** – это часть зоны лесоавиационных работ, на которой, в соответствии с законодательством, при некоторых условиях (например, когда прогнозируемый ущерб от пожаров незначительный) может быть принято решение о нецелесообразности тушения. В контексте данного исследования это зона, где пожары не тушатся.
- Зона лесоавиационных работ** – зона, где могут выполняться авиационные работы по охране лесов. В контексте данного исследования это территория лесов, на которой обнаружение и тушение лесных пожаров осуществляются преимущественно авиационными методами (зона авиационной охраны).

**Зона наземной охраны** – территория лесов, на которой обнаружение и тушение лесных пожаров осуществляются преимущественно наземными методами.

**Информационная поддержка управленческих решений** – это процесс обеспечения руководителей и менеджеров достоверной, актуальной и структурированной информацией, необходимой для анализа ситуации, прогнозирования и принятия эффективных решений.

**Информационное обеспечение** – это совокупность данных, методов, технологий и ресурсов, предназначенных для эффективного сбора, хранения, обработки, передачи и использования информации в различных сферах деятельности.

**Комбинированный индекс пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды** – модифицированный индекс (разработанный в ходе рассматриваемого исследования, см. раздел 4.2), характеризующий пожарную опасность в лесах в зависимости от условий погоды, отличающийся (в основном) тем, что для каждого региона (или лесного района внутри региона) выбрана наиболее подходящая (с точки зрения корреляции индекса с частотой возникновения лесных пожаров) методика из наиболее распространенных (Нестерова, ПВ-1, ПВ-2, ПВГ) и рассчитаны региональные границы шкал.

**Показатель эффективности охраны лесов от пожаров** – показатель (разработанный в ходе рассматриваемого исследования, см. раздел 6.1), основанный на соотношении напряженности пожароопасного сезона между максимальным и минимальным значением и соотношения относительной горимости лесов между максимальным и минимальным значением.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Глобальная оценка лесных ресурсов 2020 года. Основные выводы. — Рим: ФАО, 2020. — 16 с.
2. Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Егоров В.А., Ершов Д.В., Кобец Д.А., Сенько К.С., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2017. — Т. 14. — № 6. — С. 158-175.
3. Приказ Минприроды России от 28.12.2022 № 930 "Об утверждении прогноза научно-технологического развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года". — URL: <https://rosleshoz.gov.ru/documents/other/> (дата обращения: 25.03.2025).
4. Flannigan M.D., Krawchuk M.A., de Groot W.J., Wotton B.M., Gowman L.M. Implications of changing climate for global wildland fire // International Journal of Wildland Fire. — 2009. — No. 18. — P. 483-507.
5. Катцова В.М. Третий оценочный доклад Росгидромета об изменениях климата и их последствиях на территории Российской Федерации. — СПб: Наукоемкие технологии, 2022. — 676 с.
6. Эдельгериев Р.С.-Х., Иванов А. Л., Куст Г.С., Козлов Д.Н., Андреева О.В. Глобальный климат и почвенный покров России: оценка рисков и эколого-экономических последствий деградации земель. Адаптивные системы и технологии рационального природопользования (сельское и лесное хозяйство): национальный доклад. Глобальный климат и почвенный покров России. — М.: Геос, 2018. — 285 с.
7. Yefremov D.F., Shvidenko A. Long-term environmental impact of catastrophic forest fires in Russia's far east and their contribution to global processes // Proceedings of the Regional Workshop on Fire Protection; Khabarovsk, Russia, 12-15 September

2003. — 2004.

8. Ткаченко М.Е. Общее лесоводство. — Ленинград: Гослестехиздат, 1939. — 746 с.

9. Нестеров В.Г. Горимость леса и методы ее определения. — Москва: Гослесбумиздат, 1949. — 74 с.

10. Нестеров В.Г. Наставление по определению пожарной опасности погоды и горимости лесов. — М.: Гос. лесотехн. изд-во, 1946. — 20 с.

11. Мелехов И.С. Природа леса и лесные пожары. — Архангельск: ОГИЗ, 1947. — 60 с.

12. Мелехов И.С., Душа-Гудым С.И., Сергеева Е.П. Лесная пирология. — М: МГУЛ, 2007. — 296 с.

13. Курбатский Н.П. Методические указания для опытной разработки местных шкал пожарной опасности. — Л.: ЦНИИЛХ, 1954. — 33 с.

14. Курбатский Н.П. Пожарная опасность в лесу и ее измерение по местным шкалам. — М.: Изд-во Академии наук СССР, 1963. — 30 с.

15. Курбатский И.П., Телицын Г.П. Современная теория распространения лесных низовых пожаров // Современные исследования типологии и пирологии леса. — Архангельск, 1976. — С. 90-96.

16. Вонский С.М., Жданко В.А., Корбут В.И., Семенов М.М., Тетюшева Л.В., Завгородная Л.С. Определение природной пожарной опасности в лесу. Методические рекомендации. — Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1981. — 51 с.

17. Вонский С.М. Интенсивность огня низовых лесных пожаров и ее практическое значение. — Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1957. — 52 с.

18. Софронов М.А. Лесные пожары в горах Южной Сибири. — Москва: Наука, 1967. — 150 с.

19. Сафронов М.А. Методические рекомендации использования типовых районных шкал пожарной опасности для леса. — Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1985. — 16 с.

20. Софронов М.А. Связь пирологических характеристик и оценок как основа

управления пожарами в бореальных лесах : автореф. дис. ... д-ра. с.-х. наук: 06.03.03. — Красноярск, 1998. — 60 с.

21. Евдокименко М.Д. Пирологическая характеристика горной тайги в бассейне оз.Байкал // Охрана и восстановление лесов Забайкалья. — Красноярск: ИЛиД, 1977. — С. 5-55.

22. Коровин Г.Н., Покрываило В.Д., Гришман З.М., Латышев В.М., Самусенко И.Ф. Основные направления развития и совершенствования системы оценки и прогноза пожарной опасности // Лесные пожары и борьба с ними – Л.: ЛенНИИЛХ. — 1986. — С. 18-31.

23. Телицын Г.П. О распространении горения в лесу // Горение и пожары в лесу. — Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1973. — С. 164-176.

24. Телицын Г.П. Метод определения пожарной опасности лесной территории // Лесные пожары и борьба с ними. — 1987. — С. 13-28.

25. Шешуков 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, 1988. — 46 с.

26. Шешуков М.А., Бруслова (Виноградова), Позднякова В.В. Современные пожарные режимы в лесах Дальнего Востока // Лесоведение. — 2008. — № 4. — С. 3-9.

27. Залесов С.В. Лесная пирология. — Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 1998. — 296 с.

28. Губенко И.М., Рубинштейн К.Г. Сравнительный анализ методов расчета индексов пожарной опасности // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. — 2012. — № 347. — С. 207-222.

29. Белоусов Р.Л., Араштаев А.И., Вологдин В.А., Трофлянин В.В. Анализ факторов природной пожарной опасности лесной территории Республики Татарстан // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. — 2018. — № 1 (36). — С. 69-81.

30. Волокитина А.В. Совершенствование оценки пожарной опасности в лесу. — Красноярск, 2018. — 43 с.
31. Волокитина А.В., Софронова Т.М., Корец М.А. Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесу: Усовершенствованная методика составления // Сибирский Лесной Журнал. — 2017. — № 2.
32. Иванов В.А., Иванова Г.А. Пожары от гроз в лесах Сибири. — Новосибирск: Наука, 2010. — 164 с.
33. 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 бореальной зоны. — 2020. — Т. 38. — № 1-2. — С. 34-42.
34. Буряк Л.В., Кукавская Е.А., Иванов В.А., Малых О.Ф., Котельников Р.В. Оценка пожарной опасности и ее динамики в лесных районах Сибири // Лесоведение. — 2021. — № 4. — С. 339-353.
35. Секерин И.М., Годовалов Г.А., Залесов С.В., Ерицов А.М., Кректунов А.А. Уточнение классификации природной пожарной опасности лесов на примере лесного фонда Свердловской области // Природообустройство. — 2023. — № 3. — С. 123-129.
36. Torres-Rojo J.M. Index for the estimation of the occurrence of forest fires in large areas // Revista Chapingo, Serie Ciencias Forestales y del Ambiente. — 2020. — Vol. 26. — No. 3. — P. 433-449.
37. Курбатский Н.П., Иванова Г.А. Статистическая многофакторная модель кромки низового лесного пожара. — Красноярск: ИЛиД СО АН СССР, 1979. — С. 17-32.
38. Коровин Г.Н. Методика расчета некоторых параметров низовых лесных пожаров // Сборник научно-исследовательских работ по лесному хозяйству. Труды ЛенНИИЛХ. — 1969. — № XII. — С. 244-262.
39. Albin F.A., Korovin G.N., Gorovaya E.N. Mathematical Analysis of forest fire suppression // Ogden: USDA Forest Service Res. Paper. — 1978. — P. 20.

40. Воробьев О.Ю., Валендик Э.Н. Вероятностное множественное моделирование распространения лесных пожаров. — Новосибирск: Наука, 1978. — 160 с.
41. Доррер Г.А. Математические модели динамики лесных пожаров. — Москва: Лесная пром-ть, 1979. — 161 с.
42. Гришин А.М. Математические модели лесных пожаров. — Томск: Изд-во ТГУ, 1981. — 278 с.
43. Кулешов А.А. Математические модели лесных пожаров // Математическое моделирование. — 2002. — Т. 14. — № 11. — С. 33-42.
44. Вдовенко М.С. Моделирование процессов распространения лесных пожаров на основе параллельных алгоритмов : Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. — Красноярск: СибГТУ, 2009. — 25 с.
45. Перминов В.А. Математическое моделирование возникновения верховых и массовых лесных пожаров : дис. ... д-ра физ.-мат. наук: 01.02.05. — Томск: Изд-во Томск. ун-та, 2011. — 279 с.
46. Волокитина А.В., Софронова Т.М., Корец М.А. Прогнозирование поведения пожаров растительности // Известия высших учебных заведений. Лесной Журнал. — 2020. — № 1 (373). — С. 9-25.
47. Anderson D.G., Catchpole E.A., Mestrem T., Parkes N.J. Modeling the spread of grass fires // Journal of Australian Mathematical Society (series B). — 1982. — Vol. 23. — P. 451-466.
48. Morvan D., Dupuy J.L. Modeling the propagation of a wildfire through a Mediterranean shrub using a multiphase formulation // International Journal Combustion and Flame. — 2004. — Vol. 138. — P. 199-210.
49. Hoffman C., Ziegler J., Canfield, Mell W., Sieg C., Pimont F. Evaluating Crown Fire Rate of Spread Predictions from Physics-Based Models // Fire Technology. — 2015. — Vol. 52. — P. 1-17.
50. Балашов И.В., Бурцев М.А., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Прошин А.А.,

Сенько К.С. Спутниковый мониторинг пожаров в ИСДМ Рослесхоз: История, текущее состояние и перспективы развития // Материалы конференции IX Международная научная конференция "Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли" (г.Красноярск. 13-16 сентября 2022 г.). — Красноярск: Сибирский федеральный университет, 2022. — С. 9-12.

51. Доррер Г.А., Коморовский В.С., Якимов С.П. Методика оценки и прогнозирования параметров крупных лесных пожаров на основе спутниковой информации // Хвойные бореальной зоны. — 2011. — Т. XXVIII. — № 1-2. — С. 18-26.

52. Хвостиков С.А., Барталев С.А., Лупян Е.А. Вероятностное прогнозирование развития природных пожаров методом Монте-Карло на основе интеграции в имитационную модель данных спутникового детектирования очагов горения // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2016. — Т. 13. — № 5. — С. 145-156.

53. Барталев С.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А., Стыщенко Ф.В., Флитман Е.В. Оценка площади пожаров на основе комплексирования спутниковых данных различного пространственного разрешения MODIS и Landsat-TM/ETM+ // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2012. — Т. 9. — № 2. — С. 9-26.

54. Разработка научных обоснований зонирования территории лесного фонда по способам применения сил и средств пожаротушения : отчет о НИР (закл.) // рук. Шур Ю.З., Горювая Е.Н., Шепелёва И.С., Густова Е.В., Миняев А.В., Сергеев А.С., Белецкая А.В., Пичуркин О.Л., Константинов А.В., Доммес В.А., Мельников М.А. — СПб, 2013. — 78 с.

55. Захаренко А.С., Кузьмичев Е.П., Ягунов М.Н. Методические рекомендации по управлению лесными пожарами на основе лесопожарного зонирования и определения нормы ежегодной горимости. — Москва: Всемирный банк, 2016. — 64 с.

56. Коровин Г.Н., Абрамов Л.М., Левина Г.Г. Экономико-математическое

моделирование авиалесоохраны : Метод. рекомендации. — Ленинград: ЛенНИИЛХ, 1982. — 57 с.

57. Волокитина А.В., Софронова Т.М. Оптимизация затрат при тушении лесных пожаров // Лесохозяйственная информация. — 2018. — № 2. — С. 54-64.

58. Главацкий Г.Д., Груманс В.М. Проблема оптимизации и экономической эффективности лесопожарных мероприятий при тушении крупных лесных пожаров // Лесной вестник. — 2001. — № 2. — С. 33-45.

59. Телицын Г.П. Лесные пожары, их предупреждение и тушение в Хабаровском крае. — Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1988. — 94 с.

60. Душа-Гудым С.И. Закономерности пространственно-временного распределения лесных пожаров в РСФСР и повышение эффективности охраны лесов : автореф. дис. канд.-та с.-х. наук : 06.03.03. — М., 1984. — 18 с.

61. Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2020620679 Российская Федерация. Карта-схема "Среднегодовая относительная горимость лесных районов Российской Федерации" : № 2020620414 : заявл. 18.03.2020 : опубл. 15.04.2020 / Р.В. Котельников, Л.В. Буряк ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.

62. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение. — 2013. — № 5. — С. 50-61.

63. Иванов А.Л., Куст Г.С., Донник И.М., Бедрицкий А.И., Багиров В.А., Козлов Д.Н., Савин И.Ю., Алымбаева Ж.Б., Андреев С.Г., Андреева О.В., Антонов С.А., Асгерова Д.Б., Аюржанаев А.А., Бабина Ю.В., Байраков И.А., Баламирзоев М.А., Батоцыренов Э.А., Безуглова (Качанова) О.С., Биарсланов А.Б., Бирюков Р.Ю., Братков В.В., Бешенцев А.Н., Береза О.В., Вильфанд Р.М., Волков С.Н., Волошин А.Л., Гасанов Г.Л., Гасанова З.У., Гульбе А.Я., Гармаев Е.Ж., Грачева Р.Г., Гуржапов Б.О., Годунова Е.И., Гольдварг Б.А., Дедова (Мучаева) Э.Б., Жарникова М.А., Залибеков З.Г., Заурбеков Ш.Ш., Зволинский В.П., Золотокрылин А.Н., Зонн И.С., Золотов Д.В., Игнатова Н.В., Ильинская И.Н., Исаев В.А., Карпова

Д.В., Красильников П.В., Кирюшин В.И., Ключин П.В., Костовска С.К., Кулик К.Н., Кулинцев В.В., Липски С.А., Лобковский В.А., Макаров О.А., Мартынюк А.А., Мирзоев Э.М., Молчанов Э.Н., Назаренко О.Г., Некрасов Р.В., Нефедова Т.Г., Николаева (Кузнецова) О.П., Павлова В.П., Перевертин К.А., Першин Д.К., Петриков А.В., Птичников А.В., Родин С.А., Романовская А.А., Савинова С.В., Саяпина (Чеботаева) Д.О., Сирин А.А., Содномов Б.В., Соломина О.Н., Страшная А.И., Саидов А.К., Санжарова Н.И., Столбовой В.С., Тарасова Л.Л., Титкова Т.Б., Тишков А.А., Ткаченко Н.А., Тулохонов А.К., Тютюма Н.В., Филипчук А.Н., Хан В.М., Хитров Н.Б., Усков И.Б., Цаган-Манджиев Николай Лиджиевич, Цветнов Е.В., Цыдыпов Б.З., Чесноков Ю.В., Черенкова Е.А., Черных Д.В., Чочаев А.Х., Шабанов Р.М., Шамсутдинов З.Ш., Шамсутдинов Н.З., Шаповалов Д.А., Шинкаренко С.С., Юрова А.Ю., Якушев В.П., и др. Глобальный климат и почвенный покров России: опустынивание и деградация земель, институциональные, инфраструктурные, технологические меры адаптации (сельское и лесное хозяйство). Глобальный климат и почвенный покров России. — Москва: Издательство МБА, . — 476 с.

64. Жаринов С.Н., Голубева Е.И., Зимин М.В. Концептуальные основы организации охраны лесов от пожаров // Вопросы лесной науки. — 2020. — Т. 3. — № 3. — С. 1-8.

65. Котельников Р.В., Каспрук С.Б. Нормативная правовая база охраны лесов от пожаров : Методическое пособие. 2-е издание, переработанное и дополненное. — Пушкино, 2024. — 56 с.

66. Гармышев Я.В., Гармышев В.В. Правовые основы охраны лесов от пожаров и пути их совершенствования // Образование и право. — 2023. — № 2. — С. 258-264.

67. Р 50.1.028-2001 Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. "Методология функционального моделирования". — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200028629?ysclid=14880o8hif411030093> (дата обращения: 10.06.2022).

68. Pal Singh Toor T., Dhir T. Benefits of integrated business planning, forecasting, and process management // Business Strategy Series. — 2011. — Т. 12. — № 6. — С. 275-288.

69. IDEF – Integrated DEFinition Methods (IDEF). — URL: <https://www.idef.com/> (дата обращения: 10.06.2022).

70. Entringer T.C., da Silva Ferreira A., de Oliveira Nascimento D.C. Comparative analysis of the main business process modeling methods: A bibliometric study // Gestao e Producao. — 2021. — Т. 8. — Análise comparativa das principais metodologias de modelagem de processos de negócios: Um estudo bibliométrico. — № 2. — С. 1-16.

71. Charles M. Savage Fifth generation management. — Butterworth-Heinemann, 1996. — 382 с.

72. Ahmed F., Robinson S., Tako A.A. Using the structured analysis and design technique (SADT) in simulation conceptual modeling // Proceedings - Winter Simulation Conference. — 2015. — Т. 2015. — С. 1038-1049.

73. Разработка научно обоснованных предложений по повышению эффективности охраны лесов от пожаров с использованием цифровых технологий. Этап 1. Подготовка аналитического обзора и оценка перспективных цифровых технологий и организационных методов на основе цифровых технологий, способствующих повышению эффективности мероприятий по охране лесов от пожаров : отчет о НИР (промежуточ.) / ФБУ ВНИИЛМ / рук. Котельников Р.В., Брюханов А.В., Буряк Л.В., Иванов В.С., Салцевич Ю.В., Павличенко Е.А., Чугаев А.Н., Головин Н.В. — Красноярск, 2022. — 164 с. — Рег. № НИОКТР 122020400179-6.

74. Лесной кодекс Российской Федерации от 04.12.2006 № 200-ФЗ. — URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_64299/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64299/) (дата обращения: 15.10.2025).

75. Котельников Р.В., Конюшенков М.Е., Брюханов А.В. Роль прикладных научных исследований в области охраны лесов от пожаров в период климатических изменений // Лесохозяйственная информация. — 2024. — № 4. — С. 56-67.

76. Приказ Рослесхоза от 28.05.2012 № 218 "Об утверждении Методических указаний по вопросам организации и функционирования специализированных диспетчерских служб органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, уполномоченных в области лесных отношений". — URL: <http://docs.cntd.ru/document/902352000> (дата обращения: 28.04.2019).

77. Приказ Минприроды России от 08.10.2024 № 599 "Об утверждении состава и формы предоставления данных о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах" (Зарегистрирован Минюстом России 11.11.2024 № 80107). — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202411120007?ysclid=m46qjhp9z2256261688> (дата обращения: 15.10.2025).

78. Постановление Правительства Российской Федерации от 09.02.2017 № 157 "Об утверждении Положения о формировании штабов по координации деятельности по тушению лесных пожаров". — URL: <https://base.garant.ru/71609320/> (дата обращения: 15.10.2025).

79. Указания по проектированию противопожарных мероприятий в лесах СССР. Одобрены Госкомлесхозом СССР 29.01.1982. — URL: [http://www.aviales.ru/files/documents/2010/09/ukaz\\_ppmer1982.doc](http://www.aviales.ru/files/documents/2010/09/ukaz_ppmer1982.doc) (дата обращения: 30.08.2019).

80. ГОСТ Р 22.1.02-95 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование. Термины и определения (принят в качестве межгосударственного стандарта ГОСТ 22.1.02-97). — URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200001516?ysclid=lfv6q0fixp560048323> (дата обращения: 30.03.2023).

81. Котельников Р.В., Лупян Е.А., Барталев С.А., Ершов Д.В. Космический мониторинг лесных пожаров: история создания и развития ИСДМ-Рослесхоз // Лесоведение. — 2019. — № 5. — С. 399-409.

82. Приказ Минприроды России от 15.11.2016 № 597 "Об утверждении Порядка организации и выполнения авиационных работ по охране лесов от пожаров и Порядка организации и выполнения авиационных работ по защите

лесов". — URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_214709/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_214709/) (дата обращения: 18.05.2021).

83. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024622878 Российская Федерация. Лесопожарное зонирование в Российской Федерации : № 2024622690 : заявл. 28.06.2024 : опубл. 02.07.2024 / Р.В. Котельников, А.В. Брюханов, Д.А. Ястребков ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.

84. Головина А.Н., Иванов В.А. Сравнительная оценка горимости лесов России и зарубежных стран // Лесохозяйственная информация: электронный сетевой журнал. — 2020. — № 4. — С. 87-93.

85. Поляков, Н.Е., Нартов, Д.И., Поляков, В.Н. Сравнительная оценка горимости лесов по различным вербально-числовым шкалам // Актуальные проблемы лесного комплекса. — 2006. — № 13. — С. 98-100.

86. Singh S., Sharma A. Synthetic Aperture Radar Remote Sensing // Spaceborne Synthetic Aperture Radar Remote Sensing: Techniques and Applications. — 2023. — Vol. 1. — P. 1-12.

87. Ковалев Н.А., Лупян Е.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Бурцев М.А., Ершов Д.В., Кривошеев Н.П., Мазуров А.А. ИСДМ-Рослесхоз: 15 лет эксплуатации и развития // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2020. — Т. 17. — № 7. — С. 283-291.

88. Постановление Правительства Российской Федерации от 18.08.2011 № 687 "Об утверждении Правил осуществления контроля за достоверностью сведений о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах". — URL: <https://base.garant.ru/12188917/> (дата обращения: 18.05.2021).

89. Постановление Правительства РФ от 16.12.2021 № 2314 "Об утверждении Правил размещения и обновления федеральными органами исполнительной власти, органами исполнительной власти субъектов Российской Федерации, органами местного самоуправления или уполномоченными ими организациями информации о состоянии окружающей среды (экологической информации) на

официальных сайтах в информационно-телекоммуникационной сети „Интернет“ или с помощью государственных и муниципальных информационных систем, в том числе содержания информации о состоянии окружающей среды (экологической информации) и формы ее размещения". — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202112210034?ysclid=l8gtp311j5405165738> (дата обращения: 25.09.2022).

90. Приказ Минприроды России от 06.08.2015 № 347 "Об утверждении Методических указаний по заполнению форм сведений о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах". — URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/16229?ysclid=l8ibtph3yp131824030> (дата обращения: 26.09.2022).

91. Приказ Минприроды России от 13.10.2014 № 437 "Об утверждении Методики проведения проверки достоверности сведений о площади лесных пожаров с использованием данных дистанционного зондирования Земли высокого пространственного разрешения". — URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minprirody-rossii-ot-13102014-n-437/> (дата обращения: 15.04.2021).

92. Приказ Минприроды России от 22.07.2014 № 331 "Об утверждении состава и формы предоставления сведений о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах". — URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70634728/> (дата обращения: 18.05.2021).

93. Приказ Рослесхоза 5.05.2016 № 277 "Об утверждении Методических указаний по измерению площади, пройденной огнем при лесном пожаре". — URL: <http://docs.cntd.ru/document/420356601> (дата обращения: 18.05.2021).

94. Приказ Рослесхоза от 11.08.2015 № 290 "Об утверждении Положения о функциональной подсистеме охраны лесов от пожаров и защиты их от вредителей и болезней леса единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. — URL: <https://docs.cntd.ru/document/420296474> (дата обращения: 18.05.2021).

95. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 11.02.2021 №

312-р "Об утверждении Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года". — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202102170022?ysclid=l8gtgtsruq188248014> (дата обращения: 15.10.2025).

96. Лупян Е.А., Барталев С.А., Балашов И.В., Егоров В.А., Ершов Д.В., Кобец Д.А., Сенько К.С., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г. Спутниковый мониторинг лесных пожаров в 21 веке на территории Российской Федерации (цифры и факты по данным детектирования активного горения) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2017. — Т. 14. — № 6. — С. 158-175.

97. Постановление Правительства Российской Федерации от 13.08.2022 № 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". — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202208160005?ysclid=l7bvzwo6vd681428164> (дата обращения: 28.08.2022).

98. Зонально-географические особенности динамики пожарного созревания участков лесных земель в различные периоды пожароопасного сезона : отчет о НИР (заключит.) / ФБУ ВНИИЛМ / рук. Буряк Л.В., Котельников Р.В., Астапенко С.А., Иванов В.С., Салцевич Ю.В., Головин Н.В. — Красноярск, 2023. — 236 с. — Рег. № НИОКТР 123042500068-3.

99. Белосеркович А.В. Роль лесных пожаров в изменении экосистем в региональном аспекте Хабаровского края // Молодой ученый. — 2016. — № 3 (107). — С. 381-385.

100. 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" (Зарегистрировано в Минюсте России 17.08.2011 № 21649). — URL: <http://docs.cntd.ru/document/902289183> (дата обращения: 15.10.2025).

101. Постановление Правительства Российской Федерации от 27.12.2023 № 2332 "Об утверждении Правил разработки и утверждения плана противопожарного обустройства лесов на территории лесничества и его формы, Правил разработки плана противопожарного обустройства лесов на территории субъекта Российской Федерации и его формы". — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202312280035> (дата обращения: 15.10.2025).

102. Приказ Минприроды России от 23.01.2025 № 38 "Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов" (Зарегистрировано в Минюсте России 04.07.2025 № 82817). — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202507070035> (дата обращения: 16.07.2025).

103. Телицын Г.П. Определение пожарной опасности на лесной территории: методические рекомендации. — Хабаровск: ДальНИИЛХ, 1989. — 24 с.

104. Софронова Т.М., Волокитина А.В., Софронов М.А. Совершенствование оценки пожарной опасности по условиям погоды в горных лесах Южного Прибайкалья: монография. — Красноярск: Ин-т леса им. В. Н. Сукачева Красноярский гос. пед. ун-т им. В.П. Астафьева, 2007. — 236 с.

105. Плотникова А.С. Шкала природной пожарной опасности лесных экосистем И. С. Мелехова. Обзор современных российских методических подходов // Вопросы лесной науки. — 2021. — Т. 4. — № 2. — С. 1-13.

106. Мазаик А.И., Рыбаков А.В., Белоусов Р.Л., Араштаев А.И. Модель оценки влияния метеорологических параметров на уровень природной пожарной опасности // Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. — 2020. — № 2 (45). — С. 12-24.

107. Воронцов К.В. Математические методы обучения по прецедентам (теория обучения машин). — URL: <https://z-lib.io/book/16680307> (дата обращения: 04.02.2024).

108. Jolly W., Freeborn P., Bradshaw L., Wallace J., Brittain S. Modernizing the

US National Fire Danger Rating System (version 4): Simplified fuel models and improved live and dead fuel moisture calculations // *Environmental Modelling & Software*. — 2024. — Vol. 181. — P. 106181.

109. Приказ Минприроды России от 29.03.2018 № 122 "Об утверждении Лесоустроительной инструкции" (Зарегистрировано в Минюсте России 20.04.2018 №50859). — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201804230049> (дата обращения: 15.10.2025).

110. Taylor S.W., Alexander M. Science, technology, and human factors in fire danger rating: the Canadian experience. // *International Journal of Wildland Fire*. — 2006. — Vol. 15. — P. 121-135.

111. Котельников Р.В., Мартынюк А.А. Показатель для оценки эффективности организации охраны лесов от пожаров // *Известия высших учебных заведений. Лесной журнал*. — 2021. — № 2 (380). — С. 213-222.

112. Приказ Рослесхоза от 09.10.2013 № 288 "О применении региональных классов пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды". — URL: <https://docs.cntd.ru/document/560454139> (дата обращения: 14.11.2021).

113. Коморовский В.С. Модели организации и управления при борьбе с лесными пожарами : Учебное пособие. — Москва: НИЦ Инфра-М, 2012. — 120 с.

114. Horel J., Dong X. An Evaluation of the Distribution of Remote Automated Weather Stations (RAWS) // *Journal of Applied Meteorology and Climatology - J APPL METEOROL CLIMATOL*. — 2010. — Vol. 49. — P. 1563-1578.

115. Vitolo C., Di Giuseppe F., Barnard C., Coughlan R., San-Miguel-Ayanz J., Libertá G., Krzeminski B. ERA5-based global meteorological wildfire danger maps // *Scientific Data*. — 2020. — Vol. 7. — No. 1. — P. 216.

116. Брюханов А.В., Котельников Р.В. Развитие средств навигации и систем поддержки принятия решений в лесном пожаротушении // *Сибирский лесной журнал*. — 2023. — № 6. — С. 128-140.

117. A mathematical model for predicting fire spread in wildland fuels : Forest Service Research Paper / рук. Rothermel, R.C., 1972. — 40 p.

118. Cruz M., Alexander M. Uncertainty associated with model predictions of surface and crown fire rates of spread // *Environmental Modelling & Software*. — 2013. — Vol. 47. — P. 16-28.

119. Амосов Г.А. Некоторые закономерности развития лесных низовых пожаров // *Возникновение лесных пожаров*. — Москва: Наука, 1964. — С. 152-183.

120. Гостинцев Ю.А., Суханов Л.А. Конвективная колонка над линейным пожаром в однородной изотермической атмосфере // *Физика горения и взрыва*. — 1977. — № 5. — С. 675-685.

121. Конев Э.В. Физические основы горения растительных материалов. — Новосибирск: Наука, 1977. — 239 с.

122. Конев Э.В. Анализ процесса распространения лесных пожаров и палов // *Теплофизика лесных пожаров*. — Новосибирск: Ин-т теплофизики СО АН СССР, 1984. — С. 99-122.

123. Козодеров В.В., Кондранин Т.В., Дмитриев Е.В., Егоров В.Д., Борзяк В.В. Инновационная технология обработки многоспектральных космических изображений земной поверхности // *Исследования Земли из космоса*. — 2008. — Т. 1. — С. 56-72.

124. Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров и новые способы борьбы с ними. — Новосибирск: Наука, 1992. — 407 с.

125. Гришин А.М. Общая математическая модель лесных пожаров и ее приложения для охраны и защиты лесов // *Сопряженные задачи механики и экологии: Избранные доклады международной конференции (г. Томск. 4-9 июля 2000 г.)*. — Томск: Издательство Томского университета, 2000. — С. 88-137.

126. Калиновский А.Я., Созник А.П., Куценко Л.Н. Модель распространения ландшафтного пожара с учетом изменения влажности горючего материала // *Проблемы пожарной безопасности*. — 2011. — № 29. — С. 55-59.

127. Андреев Ю.А., Андреев А.Ю., Амельчугов С.П., Груманс В.М. Результаты оценки лесопожарных рисков как основа планирования противопожарных мероприятий // *Труды Санкт-Петербургского научно-*

исследовательского института лесного хозяйства. — 2014. — № 4. — С. 59-70.

128. Волокитина А.В., Софронов М.А., Корец М.А. Проблема прогнозирования поведения лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность. — 2010. — Т. 19. — № 4. — С. 41-48.

129. Illarionova S., Shadrin D., Gubanov F., Shutov M., Tasuev U., Evteeva K., Mironenko M., Burnaev E. Exploration of geo-spatial data and machine learning algorithms for robust wildfire occurrence prediction // Scientific Reports. — 2025. — Vol. 15. — No. 1. — P. 10712.

130. Pereira Jr. A.C., Oliveira S.L.J., Pereira J.M.C., Turkman M.A.A. Modelling fire frequency in a Cerrado savanna protected area // PLoS ONE. — 2014. — Vol. 9. — No. 7.

131. Taylor S.W., Woolford D.G., Dean C.B., Martell D.L. Wildfire prediction to inform fire management: Statistical science challenges // Statistical Science. — 2013. — Vol. 28. — No. 4. — P. 586-615.

132. Chang Y., Zhu Z., Bu R., Chen H., Feng Y., Li Y., Hu Y., Wang Z. Predicting fire occurrence patterns with logistic regression in Heilongjiang Province, China // Landscape Ecology. — 2013. — Т. 28. — № 10. — С. 1989-2004.

133. Pourghasemi H.R., Gayen A., Lasaponara R., Tiefenbacher J.P. Application of learning vector quantization and different machine learning techniques to assessing forest fire influence factors and spatial modelling // Environmental Research. — 2020. — Т. 184.

134. Guo F., Su Z., Wang G., Sun L., Tigabu M., Yang X., Hu H. Understanding fire drivers and relative impacts in different Chinese forest ecosystems // Science of the Total Environment. — 2017. — Тт. 605-606. — С. 411-425.

135. Плотникова А.С., Ершов Д.В., Шуляк П.П. Метод оценки вероятности возникновения лесных пожаров на основе закона Пуассона // Интеркарто. Интергис. — 2016. — Т. 22. — № 1. — С. 142-148.

136. Hu X. Fire frequency analysis and prediction based on back propagation neural network model and Long-Short Term Memory model // IOP Conference Series:

Earth and Environmental Science. — 2021. — T. 675. — C. 1-7.

137. Safi Y., Bouroumi A. Prediction of forest fires using Artificial neural networks // Applied Mathematical Sciences. — 2013. — Vol. 7. — P. 271-286.

138. Shidik G.G.F., Khabib M. Predicting Size of Forest Fire Using Hybrid Model // Lecture Notes in Computer Science · April 2014. — Bali, 2014. — P. 316-327.

139. Banerjee P. Maximum entropy method-based forest fire prediction mapping of Sikkim Himalaya. — URL: [https://www.researchgate.net/publication/340800648\\_Maximum\\_entropy\\_method-based\\_forest\\_fire\\_prediction\\_mapping\\_of\\_Sikkim\\_Himalaya](https://www.researchgate.net/publication/340800648_Maximum_entropy_method-based_forest_fire_prediction_mapping_of_Sikkim_Himalaya).

140. Castelli M., Vanneschi L., Popovič A. Predicting Burned Areas of Forest Fires: An Artificial Intelligence Approach // Fire Ecology. — 2015. — Vol. 11. — P. 106-118.

141. Rodrigues M., Riva J. An insight into machine-learning algorithms to model human-caused wildfire occurrence // Environmental Modelling & Software. — 2014. — Vol. 57. — P. 192-201.

142. Malik A., Jalin N., Rani S., Singhal P., Jain S., Gao J. Wildfire Risk Prediction and Detection using Machine Learning in San Diego, California // IEEE Fifth International Conference on Smart City Innovation/DOI: 10.1109/SWC50871.2021.00092. — Virtual Conference, 2021. — P. 1-8.

143. Alexander M.E. Models for predicting crown fire behavior // V Short Course on Fire Behaviour, Figueira da Foz, Portugal. Association for the Development of Industrial Aerodynamics, Forest Fire Research Centre. — 2006. — P. 173-225.

144. Van Wagner, C.E. Conditions for the start and spread of crown fire // Canadian Journal of Forest Research. — 1977. — Vol. 7. — No. 1. — P. 23-34.

145. Weber, R.O. Modeling fire spread through fuel beds // Prog. Everg. Combust. Sci. — 1990. — Vol. 17. — P. 65-82.

146. Временные нормативы на выполнение работ по тушению лесных пожаров, утвержденные приказом Гослесхоза СССР от 16.05.1986 № 77. — URL: [https://aviales.ru/files/documents/2009/07/norma\\_pozh.pdf](https://aviales.ru/files/documents/2009/07/norma_pozh.pdf) (дата обращения:

25.03.2026).

147. Созник А.П., Кириченко И.К., Калиновский А.Я., Гайдым С.В. Глобальная и локальная модели распространения ландшафтного пожара // Проблемы пожарной безопасности. — 2010. — № 28. — С. 162-165.

148. Андреев Ю.А., Андреев А.Ю., Амельчугов С.П., Груманс В.М. Результаты оценки лесопожарных рисков как основа планирования противопожарных мероприятий // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. — 2014. — № 4. — С. 144-151.

149. Sullivan A.L. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 1: Physical and quasi-physical models // International Journal of Wildland Fire. — 2009. — No. 18 (4). — P. 349-368.

150. Sullivan A. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 2: Empirical and quasi-empirical models // International Journal of Wildland Fire. — 2009. — Vol. 18. — Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 2. — P. 369-386.

151. Sullivan A. Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 3: Simulation and mathematical analogue models // International Journal of Wildland Fire. — 2009. — Vol. 18. — Wildland surface fire spread modelling, 1990–2007. 3. — P. 387-403.

152. Воробьев О.Ю. Среднемерное моделирование. — М.: Наука, 1984. — 136 с.

153. Моделирование лесного пожара : отчет о НИР (заключ.) / Академия ГПС МЧС России / рук. Калайдов А.Н., Бобров А.И., Заворотный А.Г., Неровных А.Н., Подставков В.П., Денисов А.Н., Апарина Ю.П., Белкин К.А., Дашко В.М., Подкосов С.В., Подкосов С.П. — Москва, 2020. — 136 с. — Рег. № НИОКТР АААА – А20-120102390052-3.

154. Шешуков М.А., Савченко А.П., Пешков В.В. Лесные пожары и борьба с ними на Севере Дальнего Востока. — 1992. — С. 94.

155. Софронов М.А., Вакуров А.Д. Огонь в лесу. — Новосибирск: Наука, 1981. — 128 с.

156. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2021611470 Российская Федерация. Информационная система "Атлас опасностей и рисков" : № 2021610598 : заявл. 22.01.2021 : опубл. 28.01.2021 / Д.Д. Авдикеев, Р.С. Большаков, А.В. Горюнов, П.Г. Дворников, И.А. Нестеров, А.А. Оникиенко, Е.Н. Тарасюк, С.В. Тряпицын, А.А. Линник, М.С. Маркин, А.И. Кузина ; заявитель и правообладатель МЧС России. - 1 с.

157. Finney M., Grenfell I., McHugh C., Seli R., Trethewey D., Stratton R., Brittain S. A Method for Ensemble Wildland Fire Simulation // *Environmental Modeling and Assessment*. — 2011. — Vol. 16. — P. 153-167.

158. Hargrove W., Gardner R.H., Turner M., Romme W., Despain D.G. Simulating fire patterns in heterogeneous landscapes // *Ecological Modelling*. — 2000. — Vol. 135. — P. 243-263.

159. Lautenberger C. Wildland fire modeling with an Eulerian level set method and automated calibration // *Fire Safety Journal*. — 2013. — Vol. 62. — P. 10.

160. Mandel J., Schreyer L., Beezley J., Coen J., Douglas C., Kim M., Vodacek A. A wildland fire model with data assimilation // *Mathematics and Computers in Simulation*. — 2008. — Vol. 79. — P. 584-606.

161. Giglio L., Descloitres J., Justice C., Kaufman Y. An Enhanced Contextual Fire Detection Algorithm for MODIS // *Remote Sensing of Environment*. — 2003. — Vol. 87. — P. 273-282.

162. Schroeder W., Oliva P., Giglio L., Csiszar I. The New VIIRS 375 m active fire detection data product: Algorithm description and initial assessment // *Remote Sensing of Environment*. — 2014. — Vol. 143. — P. 85-96.

163. BehavePlus Fire Modeling System. — URL: <https://www.frames.gov/behaveplus/home> (дата обращения: 24.05.2021).

164. The Wildland Fire Assessment System. — URL: <https://www.wfas.net/> (дата обращения: 24.05.2021).

165. The European Forest Fire Information System (EFFIS). — URL: <http://effis.jrc.ec.europa.eu/> (дата обращения: 15.05.2019).

166. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз). — URL: [https://nffc.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml) (дата обращения: 18.05.2021).

167. Барталев С.А., Егоров В.А., Жарко В.О., Лупян Е.А., Плотников Д.Е., Хвостиков С.А., Шабанов Н.В. Спутниковое картографирование растительного покрова России. — М.: ИКИ РАН, 2016. — 208 с.

168. Котельников Р.В., Семенов В.Л., Щетинский В.Е., Барталев С.А., Галеев А.А. Информационная система дистанционного мониторинга Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) : Учебное пособие. — Москва: ФБУ "Авиалесоохрана", 2015. — 386 с.

169. The Rising Cost of Wildfire Operations: Effects on the Forest Service's Non-Fire Work. — USDA, 2015. — 17 p.

170. Хвостиков С.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Лупян Е.А. Региональная оптимизация параметров прогнозной модели природных пожаров и оперативное моделирование динамики их развития с использованием данных спутниковых наблюдений // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2012. — Т. 9. — № 3. — С. 91-100.

171. Лупян Е.А., Барталев С.А., Ершов Д.В., Котельников Р.В., Балашов И.В., Бурцев М.А., Егоров В.А., Ефремов В.Ю., Жаринов С.Н., Ковганко К.А., Колбудаев П.А., Крашенинникова Ю.С., Прошин А.А., Мазуров А.А., Уваров И.А., Стыценок Ф.В., Сычугов И.Г., Флитман Е.В., Хвостиков С.А., Шуляк П.П. Организация работы со спутниковыми данными в информационной системе дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз) // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2015. — Т. 12. — № 5. — С. 222-250.

172. Justice C.L., Giglio L., Boschetti L., Roy D., Csiszar I., Morisette J.T., Kaufman Y. MODIS fire products algorithm technical background document. — 2006.

173. Reuter, H. , Nelson, A., Jarvis, A. An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data // International Journal of Geographical Information Science. —

2007. — Vol. 21. — No. 9. — P. 983-1008.

174. Подрезов Ю.В. Методологические основы прогнозирования динамики и последствий чрезвычайных лесопожарных ситуаций: дис. на соис. уч. степ. доктора с.-х. наук : 06.03.03. — Москва: МГУЛ, 2005. — 394 с.

175. Рыбаков А.В., Иванов Е.В. Реализация методов и алгоритмов технологий больших данных для решения задач защиты населения и территорий в чрезвычайных ситуациях. — Химки: ФГБВОУ ВО "Академия гражданской защиты МЧС России", 2024. — 120 с.

176. Рыбаков А.В., Дмитриев А.В., Тимарин А.Н., Иванов Е.В., Фукс Э.К. Разработка научно обоснованных моделей прогнозирования природных пожаров на основе данных дистанционного зондирования Земли // Сборник трудов Конкурса научно-исследовательских работ (Конкурса НИР) Форума "Безопасность и охрана труда" БИОТ-2021 (г. Москва, 07–10 декабря 2021 г.). — Москва: Ассоциация разработчиков, изготовителей и поставщиков СИЗ, 2021. — С. 109-112.

177. Методика прогнозной и аналитической модели "Лесной пожар". — Москва: ООО НЦИ, 2022. — 107 с.

178. ПНСТ 774-2022 Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Безопасный город. Прогнозирование лесных пожаров. Общие требования. — URL: [https://allgosts.ru/13/200/pnst\\_774-2022](https://allgosts.ru/13/200/pnst_774-2022) (дата обращения: 02.02.2024).

179. Акимов В.А., Колеганов С.В., Мишурный АПК "Безопасный город": оценка вероятности ЧС // Гражданская защита. — 2022. — № 5(561). — С. 36-38.

180. Акимов В.А., Мишурный А.В., Якимюк О.В., Бобрешова А.В., Иванова Е.О., Колеганов С.В., Курличенко И.В., Пигина С.В., Степаненко Д.В., Щедров И.Ю. Прогнозно-аналитические решения по природным, техногенным и биолого-социальным угрозам единой системы информационно-аналитического обеспечения безопасности среды жизнедеятельности и общественного порядка "Безопасный город". — Москва: МЧС России, 2022. — 316 с.

181. Ложкина О.В. Обзор зарубежных подходов для моделирования распространения дыма природных пожаров и прогнозирования его воздействия на безопасность дорожного движения. // Проблемы управления рисками в техносфере. — 2020. — Т. 53. — № 1. — С. 100-105.

182. Scott L., Achtemeier L., Narasimhan K., Yongqianq L., Tara M. Modelling smoke transport from wildland fires: a review // International Journal of Wildland Fire. — 2013. — No. 22. — P. 83-94.

183. РД 52.18.717-2009. Руководящий документ. "Методика расчета рассеяния загрязняющих веществ в атмосфере при аварийных выбросах", утвержденная Роскомгидрометом 30.07.2009. — URL: [https://mgmtmo.ru/edumat/rd/52.18.717\\_2009.pdf](https://mgmtmo.ru/edumat/rd/52.18.717_2009.pdf) (дата обращения: 04.11.2025).

184. Коровин Г.Н., Андреев Н.А. Авиационная охрана лесов. — Москва: Агропромиздат, 1988. — 223 с.

185. Постановление Правительства Российской Федерации от 06.03.2012 № 194 "Об утверждении критериев оценки эффективности деятельности органов государственной власти субъектов Российской Федерации по осуществлению переданных полномочий Российской Федерации в области лесных отношений". — URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_127262/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_127262/) (дата обращения: 01.08.2019).

186. Приказ Минприроды России от 09.12.2014 № 545 "Об утверждении Методики оценки эффективности осуществления органами государственной власти субъектов Российской Федерации переданных в соответствии со статьей 83 Лесного кодекса Российской Федерации полномочий Российской Федерации в области лесных отношений". — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201503240019> (дата обращения: 15.04.2021).

187. Щетинский Е.А. Авиационная охрана лесов : учеб. пособие для летчиков-наблюдателей. — Москва: ФБУ ВНИИЛМ, 2001. — 488 с.

188. Проект постановления Правительства Российской Федерации "О

внесении изменений в постановление Правительства Российской Федерации от 3 апреля 2021 г. № 542 "Об утверждении методик расчета показателей для оценки эффективности деятельности высших должностных лиц (руководителей высших исполнительных органов государственной власти) субъектов Российской Федерации и деятельности органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, а также о признании утратившими силу отдельных положений постановления Правительства Российской Федерации от 17 июля 2019 г. № 915". — URL: <http://regulation.gov.ru/p/126393> (дата обращения: 11.07.2022).

189. Указ Президента Российской Федерации от 15.06.2022 № 382 "О мерах по сокращению площади лесных пожаров в Российской Федерации". — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202206150004?index=0&rangeSize=1&ysclid=17de0euwq146332564> (дата обращения: 28.08.2022).

190. Wise C.R. Accountability in Collaborative Federal Programs—Multidimensional and Multilevel Performance Measures Needed: The Case of Wildland Fire Prevention // *The American Review of Public Administration*. — 2022. — Т. 52. — Accountability in Collaborative Federal Programs—Multidimensional and Multilevel Performance Measures Needed. — № 2. — С. 95-108.

191. Radeloff V.C., Hammer R.B., Stewart S.I., Fried J.S., Holcomb S.S., McKeefry J.F. The wildland-urban interface in the United States // *Ecological Applications*. — 2005. — P. 799-805.

192. Thompson M.P., Freeborn P., Rieck J.D., Calkin D., Gilbertson-Day J.W., Cochrane M.A., Hand M.S. Quantifying the influence of previously burned areas on suppression effectiveness and avoided exposure: A case study of the Las Conchas Fire // *International Journal of Wildland Fire*. — 2016. — Vol. 25. — No. 2. — P. 167-181.

193. Thompson M.P., O'Connor C.D., Gannon B.M., Caggiano M.D., Dunn C.J., Schultz C.A., Calkin D.E., Pietruszka B., Greiner S.M., Stratton R., Morissette J.T. Potential operational delineations: new horizons for proactive, risk-informed strategic land and fire management // *Fire Ecology*. — 2022. — Vol. 18. — Potential

operational delineations. — No. 1. — P. 17.

194. Bahro B., Barber K.H., Sherlock J.W., Yasuda D.A. Stewardship and fire-adapted ecosystems: a process for designing a landscape fuel treatment strategy. // Restoring fire-adapted ecosystems: proceedings of the 2005 national silviculture workshop, Gen. Tech. Rep PSW-GTR-203. — 2007. — Vol. 203. — P. 41-54.

195. Vaillant N.M., Ager A.A., Anderson J. ArcFuels10 system overview // Gen. Tech. Rep. PNW-GTR-875. Portland, OR: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Pacific Northwest Research Station. — 2013. — Vol. 875. — P. 1-65.

196. Ager A.A., Kline J.D., Fischer A.P. Coupling the Biophysical and Social Dimensions of Wildfire Risk to Improve Wildfire Mitigation Planning // Risk Analysis. — 2015. — Vol. 35. — No. 8. — P. 1393-1406.

197. Castellnou M., Prat-Guitart N., Arilla E., Larrañaga A., Nebot E., Castellarnau X., Vendrell J., Pallàs J., Herrera J., Monturiol M., Cespedes J., Pagès J., Gallardo C., Miralles M. Empowering strategic decision-making for wildfire management: avoiding the fear trap and creating a resilient landscape // Fire Ecology. — 2019. — Vol. 15. — No. 1. — P. 31.

198. Wyborn C. Connectivity conservation: Boundary objects, science narratives and the co-production of science and practice // Environmental Science & Policy. — 2015. — Vol. 51. — Connectivity conservation. — P. 292-303.

199. Davis E.J., Huber-Stearns H., Cheng A.S., Jacobson M. Transcending Parallel Play: Boundary Spanning for Collective Action in Wildfire Management // Fire. — 2021. — Vol. 4. — No. 3. — P. 41.

200. Raúl G., Alan L., Peter D. Agencies have made several key changes but could benefit from more information about effectiveness. — Washington, DC: United States Government Accountability Office, 2015. — 74 с.

201. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 26.09.2013 № 1724-р "Об утверждении Основ государственной политики в области использования, охраны, защиты и воспроизводства лесов в Российской Федерации на период до 2030 года". — URL: <https://docs.cntd.ru/document/499047151> (дата

обращения: 30.12.2025).

202. FAO Strategy on Forest Fire Management. — URL: <https://www.fao.org/3/cb6816en/cb6816en.pdf> (дата обращения: 27.11.2023).

203. Landscape Fire Governance Framework (2023). — URL: [https://assets.website-files.com/625eec974c68b24b4ed75bb5/64df3d8c07e6565f7631b8c9\\_Framework%20A-GIF%20-%20ENG%20V2.pdf](https://assets.website-files.com/625eec974c68b24b4ed75bb5/64df3d8c07e6565f7631b8c9_Framework%20A-GIF%20-%20ENG%20V2.pdf) (дата обращения: 27.11.2023).

204. Рекомендации по стандартизации Р 50.1.100-2014 Статистические методы. Три подхода к интерпретации и оценке неопределенности измерений. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200120832> (дата обращения: 15.10.2025).

205. Katz R.W., Brush G.S., Parlange M.B. Statistics of extremes: Modeling ecological disturbances // *Ecology*. — 2005. — Vol. 86. — No. 5. — P. 1124-1134.

206. Limpert E., Stahel W.A., Abbt M. Log-normal distributions across the sciences: Keys and clues // *BioScience*. — 2001. — Vol. 51. — No. 5. — P. 341-352.

207. Torres F., Lima G., Martins S., Valverde S. Analysis of efficiency of fire danger indices in forest fire prediction // *Revista Árvore*. — 2017. — Vol. 41. — P. 1-10.

208. Мазуров А.А., Балашов И.В., Буянова Е.Ю., Ефиминко Г.А., Кисиленко В.С., Котельников Р.В., Классен В.И., Ключников В.Ю., Лупян Е.А., Натензон М.Я., Перепелко Д.А., Романов А.А., Романов А.А., Чуй С.А., Урлич Ю.М. Системный подход к коммерциализации космической деятельности. — Москва: ИП Викулов К.В., 2022. — 312 с.

209. Лупян Е.А., Стыценко Ф.В., Сенько К.С., Балашов И.В., Мазуров А.А. Оценка площадей пожаров на основе детектирования активного горения с использованием данных шестой коллекции приборов MODIS // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. — 2021. — Т. 18. — № 4. — С. 178-192.

210. Котельников Р.В., Лупян Е.А. Особенности дистанционно оцениваемых

распределений площадей лесных пожаров для территорий с различным уровнем пожарной охраны // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2022. — Т. 19. — № 4. — С. 75-87.

211. Балашов И.В., Кашницкий А.В., Барталев С.А., Барталев С.С., Бурцев М.А., Ворущилов И.И., Егоров В.А., Жарко В.О., Кобец Д.А., Константинова А.М., Лупян Е.А., Сайгин И.А., Сенько К.С., Стыценко Ф.В., Сычугов И.Г., Хвостиков С.А., Ховратович Т.С. Информационная система комплексного мониторинга лесов и охотничьих угодий России ВЕГА-Лес // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2020. — Т. 17. — № 4. — С. 73-78.

212. Louis G. MODIS Collection 6 Active Fire Product User's Guide Revision A. — URL: [https://cdn.earthdata.nasa.gov/conduit/upload/3865/MODIS\\_C6\\_Fire\\_User\\_Guide\\_A.pdf](https://cdn.earthdata.nasa.gov/conduit/upload/3865/MODIS_C6_Fire_User_Guide_A.pdf) (дата обращения: 11.10.2024).

213. Приказ Рослесхоза от 11.03.2024 № 117 "Об установлении лесопожарного зонирования земель лесного фонда". — URL: <https://firescience.ru/project/lpzon/npa/2024.pdf> (дата обращения: 06.08.2024).

214. Котельников Р.В., Лупян Е.А. Оценка формы распределения площадей лесных пожаров для зон с разным уровнем охраны // Электронный сборник материалов конференции. 19-ая Международная конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса" (Москва, ИКИ РАН, 15–19 ноября 2021 г.). — Москва: ИКИ РАН, 2021. — С. 100.

215. Котельников Р.В., Коршунов Н.А., Гиряев Н.А. Задачи принятия решений в области охраны лесов от пожаров: основные приоритеты развития информационного обеспечения // Сибирский лесной журнал. — 2017. — № 5. — С. 18-24.

216. Лупян Е.А., Мазуров А.А., Флитман Е.В., Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Новик В.П., Абушенко Н.А., Алтынцев Д.А., Кошелев В.В., Тацилин С.А., Татарников А.В., Сухинин А.И., Пономарев Е.И., Гришин А.М., Афонин С.В., Белов В.В., Гриднев Ю.В., Матвиенко Г.Г. Спутниковый мониторинг лесных

пожаров в России. Итоги. Проблемы. Перспективы. Аналит. обзор. — Новосибирск: ИОА;ГПНТБ СО РАН, 2003. — 134 с.

217. Loboda T., Csiszar I. Estimating burned area from AVHRR and MODIS: validation results and sources of error // Contemporary Earth Remote Sensing from Space. — 2005. — Vol. 2. — P. 415-421.

218. Пономарев Е.И., Швецов Е.Г. Спутниковое детектирование лесных пожаров и геоинформационные методы калибровки результатов // Исследование Земли из космоса. — 2015. — № 1. — С. 84-91.

219. Котельников Р.В., Мартынюк А.А. Использование Закона Бенфорда для оценки достоверности сведений о лесных пожарах // Лесотехнический журнал. — 2018. — Т. 8. — № 1 (29). — С. 28-34.

220. Лемешко Б.Ю., Лемешко С.Б., Постовалов С.Н., Чимитова Е.В. Статистический анализ данных, моделирование и исследование вероятностных закономерностей. Компьютерный подход: монография: Монографии НГТУ. — Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2011. — 888 с.

221. Вильдяев В.М., Логунов О.Ю. О цикличности природных процессов // Использование и охрана природных ресурсов в России. — 2009. — № 4 (106). — С. 34-43.

222. Пудовкин М.И. Влияние солнечной активности на состояние нижней атмосферы и погоду. // Соросовский образовательный журнал. — 1996. — Т. 10(11). — С. 106-113.

223. Brys G., Hubert M., Struyf A. A Robust Measure of Skewness // Journal of Computational and Graphical Statistics. — 2004. — Vol. 13. — No. 4. — P. 996-1017.

224. Percival D.B., Walden A.T. Spectral Analysis for Physical Applications. — Cambridge: Cambridge University Press, 1993. — 561 p.

225. Golden K.M., Murphy N.B., Hallman D., Cherkaev E. Stieltjes functions and spectral analysis in the physics of sea ice // Nonlinear Processes in Geophysics. — 2023. — Vol. 30. — No. 4. — P. 527-552.

226. Котельников Р.В. Использование данных дистанционного зондирования Земли для оценки повторяемости пиков горимости в лесах Российской Федерации // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2024. — Т. 21. — № 5. — С. 9-19.

227. Котельников Р.В., Лупян Е.А., Балашов И.В. Предварительный анализ горимости лесов Российской Федерации в пожароопасном сезоне 2023 года по данным дистанционного мониторинга // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2023. — Т. 20. — № 5. — С. 327-334.

228. Hayasaka H. Fire Weather Conditions in Boreal and Polar Regions in 2002–2021 // Atmosphere. — 2022. — Vol. 13. — No. 7. — P. 1117.

229. Buryak L., Kukavskaya E., Ivanov V., Malykh O., Kotelnikov R. Assessment of Fire Hazard and Its Dynamics in Forest Areas of Siberia // Contemporary Problems of Ecology. — 2021. — Т. 14. — С. 803-814.

230. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023685522 Российская Федерация. Онлайн-калькулятор пожарной опасности лесных участков расположенных в границах ЗАТО Железногорск : № 2023683927 : заявл. 14.11.2023 : опубл. 28.11.2023 / Р.В. Грязнов, Е.В. Ехалов, Ю.Н. Коваль, Р.В. Котельников, Д.А. Озерский, Е.А. Субботин ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. - 1 с.

231. Котельников Р.В., Чугаев А.Н. Сравнительная оценка качества индексов пожарной опасности в лесах // Сибирский лесной журнал. — 2023. — № 6. — С. 32-38.

232. Kotelnikov R.V., Lupyan E.A., Bartalev S.A., Ershov D.V. Space Monitoring of Forest Fires: History of the Creation and Development of ISDM-Rosleskhoz // Contemporary Problems of Ecology. — 2020. — Vol. 13. — No. 7. — P. 795-802.

233. 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. — Vol. 11. — No. 5. — P. 1-18.

234. Pezzatti G.B., De Angelis A., Bekar I., Ricotta C., Bajocco S., Conedera M.

Complementing daily fire-danger assessment using a novel metric based on burnt area ranking // *Agricultural and Forest Meteorology*. — 2020. — Vol. 295. — P. 168-1923.

235. Srock A.F., Charney J.J., Potter B.E., Goodrick S.L. The Hot-Dry-Windy Index: A new fireweather index // *Atmosphere*. — 2018. — Vol. 9. — No. 7. — P. 1-11.

236. Šturm T., Fernandes P.M., Šumrada R. The Canadian fire weather index system and wildfire activity in the Karst forest management area, Slovenia // *European Journal of Forest Research*. — 2012. — Vol. 131. — No. 3. — P. 829-834.

237. Viegas D., Bovio G., Ferreira A., Nosenzo A., Sol B. Comparative Study of Various Methods of Fire Danger Evaluation in Southern Europe // *International Journal of Wildland Fire*. — 1999. — Vol. 9. — P. 235-246.

238. Чугаев А.Н., Котельников Р.В. Дашборд "Сравнение методик оценки пожарной опасности в лесах, в зависимости от условий погоды". — URL: <https://datalens.yandex/22c9iei78pjos> (дата обращения: 01.12.2025).

239. Котельников Р.В. Сравнительный анализ формы распределения площадей лесных пожаров по ретроспективным космическим данным с учетом доли активно охраняемой территории субъектов Российской Федерации // *Материалы 20-й Международной конференции "Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса". Электронный сборник материалов конференции. Институт космических исследований Российской академии наук (г. Москва, 14–18 ноября 2022 г.)*. — М.: ИКИ РАН, 2022. — С. 101.

240. Kotelnikov R.V., Chugaev A.N. Efficiency evaluation of the weighted mean calculation of the forest fire hazard class // *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.* — 2021. — Vol. 875. — No. 1. — P. 012064.

241. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023669817 Российская Федерация. Расчет рекомендуемых шкал пожарной опасности в лесах : № 2023668349 : заявл. 06.09.2023 : опубл. 20.09.2023 / Р.В. Котельников, А.А. Мартынюк ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.

242. Разработка научно обоснованных предложений по совершенствованию обеспечения мероприятий по охране лесов от пожаров в зависимости от условий погоды на основе цифровых технологий : отчет о НИР (заключит.) / ФБУ ВНИИЛМ / рук. Котельников Р.В., Брюханов А.В., Буряк Л.В., Иванов В.С., Салцевич Ю.В., Головин Н.В., Головина А.Н. — Красноярск, 2023. — 125 с. — Рег. № НИОКТР 123042500069-0.

243. Котельников Р.В., Мартынюк А.А. Методические подходы к оценке эффективности региональных шкал пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. — 2023. — № 246. — С. 162-176.

244. Постановление Правительства Российской Федерации от 11.09.2020 № 1404 "Об утверждении Правил определения общего объема субвенций, предоставляемых из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации для осуществления полномочий Российской Федерации в области лесных отношений, переданных в соответствии с частью 1 статьи 83 Лесного кодекса Российской Федерации". — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202009150016> (дата обращения: 15.04.2021).

245. Hyndman R.J., Athanasopoulos G. Forecasting: Principles and Practice : 3rd edition. Forecasting. — Australia: OTexts: Melbourne, 2021.

246. Hyndman R.J., Khandakar Y. Automatic Time Series Forecasting: The forecast Package for R // Journal of Statistical Software. — 2008. — Vol. 3. — No. 27. — P. 1-22.

247. De Livera A.M., Hyndman R.J., Snyder R.D. Forecasting Time Series With Complex Seasonal Patterns Using Exponential Smoothing // Journal of the American Statistical Association. — 2024. — No. 106(496). — P. 1513-1527.

248. Hinton G.E. Connectionist learning procedures // Artificial Intelligence. — 1989. — Vol. 40. — No. 1-3. — P. 185-234.

249. Котельников Р.В., Мартынюк А.А. Математическая оценка

достоверности информации о лесных пожарах // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. — 2023. — № 3. — С. 21-34.

250. Hochreiter S., Schmidhuber J. Long short-term memory // Neural Computation. — 1997. — Т. 9. — № 8. — С. 1735-1780.

251. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023667203 Российская Федерация. Краткосрочный прогноз частоты возникновения лесных пожаров : № 2023666795 : заявл. 14.08.2023 : опубл. 14.08.2023 / Р.В. Котельников ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.

252. Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2021622517 Российская Федерация. Карта-схема повторяемости пиков возникновения лесных пожаров на территории лесных районов в границах субъектов Российской Федерации : № 2021622380 : заявл. 05.11.2021 : опубл. 16.11.2021 / Р.В. Котельников, А.Н. Чугаев ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.

253. Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2020620704 Российская Федерация. Периоды максимума частоты пожаров в лесах Российской Федерации : № 2020620537 : заявл. 03.04.2020 : опубл. 22.04.2020 / Р.В. Котельников, Л.В. Буряк ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.

254. Постановление Правительства Российской Федерации от 18.07.2024 № 981 "Об утверждении критериев оценки эффективности деятельности органов государственной власти субъектов Российской Федерации по осуществлению переданных полномочий Российской Федерации в области лесных отношений". — URL:

<http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202407190006?ysclid=m6iw2s7vr2384692440> (дата обращения: 30.01.2025).

255. Лупян Е.А., Барталев С.А., Ершов Д.В., Стыщенко Ф.В. Методика оценки площадей, пройденных лесными пожарами, на основе данных спутниковых наблюдений // Аэрокосмические методы и геоинформационные технологии в лесоведении и лесном хозяйстве: Доклады VI Всероссийской конференции (Москва 20-22 апреля 2016 г.). — Москва: ЦЭПЛ РАН, 2016. — С. 43-46.

256. Софронов М.А., Гольдаммер И.Г., Цветков П.А., Софронова Т.М. Пожарная опасность в природных условиях. — Красноярск: Институт леса им. В.Н. Сукачева СО РАН, 2005. — 332 с.

257. Van Wagner С.Е. Development and structure of the Canadian Forest Fire Weather Index System : Canadian Forestry Service. Forestry Techn. Vol. 35. — Ottawa, 1987. — 18 p.

258. Котельников Р.В., Коршунов Н.А., Гиряев Н.М. Задачи принятия решений в области охраны лесов от пожаров: основные приоритеты развития информационного обеспечения // Сибирский лесной журнал. — 2017. — № 5. — С. 18-24.

259. Thompson M., Calkin D., Scott J.H., Hand M. Uncertainty and Probability in Wildfire Management Decision Support: An Example from the United States // Natural Hazard Uncertainty Assessment: Modeling and Decision Support. — 2016. — P. 31-41.

260. Calkin D.E., Thompson M.P., Finney M.A., Hyde K.D. A real-time Risk Assessment tool supporting wildland fire decisionmaking // Journal of Forestry. — 2011. — Vol. 109. — No. 5. — P. 274-280.

261. Приказ Минприроды России от 01.04.2022 № 244 "Об утверждении Правил тушения лесных пожаров" (Зарегистрирован Минюстом России 12.08.2022 № 69620). — URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202208120026?ysclid=16butqrjnm3394457136> (дата обращения: 15.10.2025).

262. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024665286 Российская Федерация. Визуализация динамики уровня охраны : № 2024664601 : заявл. 28.06.2024 : опубл. 28.06.2024 / Р.В. Котельников, А.В. Брюханов, Д.А. Ястребков ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.

263. Буряк Л.В., Котельников Р.В. Краткий справочник эколого-географических и лесопирологических особенностей лесных районов. — г. Пушкино: ФБУ ВНИИЛМ, 2023. — 87 с.

264. Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2023623946 Российская Федерация. Лесопирологические показатели лесных районов Российской Федерации : № 2023623823 : заявл. 10.11.2023 : опубл. 14.11.2023 / Р.В. Котельников, Л.В. Буряк, В.С. Иванов ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.

265. Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2020621559 Российская Федерация. Тематическая карта-схема "Удаленность территорий от аэродромов из реестра гражданской авиации" : № 2020621253 : заявл. 03.08.2020 : опубл. 26.08.2020 / Р.В. Котельников, А.Н. Чугаев ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.

266. Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2023622685 Российская Федерация. Карта-схема плотности населенных пунктов и территорий, подверженных угрозе лесных пожаров в границе лесных районов : № 2023622356 : заявл. 24.07.2023 : опубл. 07.08.2023 / Р.В. Котельников, Д.В. Карпачев ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.

267. Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2020621411 Российская Федерация. Тематическая карта схема: "Распределение объектов, потенциально подверженных лесным пожарам" : № 20200621286 : заявл. 04.08.2020 : опубл. 12.08.2020 / Р.В. Котельников, Ю.С. Ачиколова, Ю.В. Салцевич ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.

268. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023665954 Российская Федерация. Визуализация перечня населенных пунктов и территорий, потенциально подверженных угрозе лесных пожаров в границе лесных районов : № 2023665286 : заявл. 24.07.2023 : опубл. 24.07.2023 / Р.В. Котельников, А.В. Брюханов, Н.В. Головин ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.

269. ГОСТ Р 22.1.09-99 Государственный стандарт Российской Федерации. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. Общие требования. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200025900> (дата обращения: 28.04.2019).

270. Численность населения Российской Федерации по муниципальным образованиям. — URL: <https://rosstat.gov.ru/compendium/document/13282?print=1> (дата обращения: 14.08.2020).

271. Seber G., Lee A. *Linear Regression Analysis*. Vol. 1 / journalAbbreviation: *Probability and Statistics*. — John Wiley & Sons, 2012. — 592 p.

272. Приказ Рослесхоза от 26.01.2022 № 22 "Об установлении лесопожарного зонирования земель лесного фонда и признании утратившим силу приказа Федерального агентства лесного хозяйства от 05.08.2020 № 753". — URL: [https://firescience.ru/project/lpzon/prikaz22ot26\\_01\\_2022.pdf](https://firescience.ru/project/lpzon/prikaz22ot26_01_2022.pdf) (дата обращения: 11.04.2022).

273. Ершов Д.В., Коровин Г.Н., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Тащилин С.А. Российская система спутникового мониторинга лесных пожаров // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса: Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных объектов и явлений. Сборник научных статей*. — 2004. — С. 47-57.

274. Беляев И.М., Коровин Г.Н., Лупян Е.А. Использование спутниковых данных в системе дистанционного мониторинга лесных пожаров МПР РФ // *Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса*. — 2005. — Т. 2. — № 1. — С. 20-29.

275. Loupian E.A., Mazurov A.A., Flitman E.V., Ershov D.V., Korovin G.N., Novik V.P., Abushenko N.A., Altyntsev D.A., Koshelev V.V., Tashchilin S.A., Tatarnikov A.V., Csiszar I., Sukhinin A.I., Ponomarev E.I., Afonin S.V., Belov V.V., Matvienko G.G., Loboda T. *Satellite Monitoring of Forest Fires in Russia at Federal and Regional Levels // Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*. — 2006. — Vol. 11. — No. 1. — P. 113-145.

276. Tansey K., Grégoire J.-M., Defourny P., Leigh R., Pekel J.-F., Bogaert E., Bartholomé E. A new, global, multi-annual (2000–2007) burnt area product at 1 km resolution // *Geophysical Research Letters*. — 2008. — Vol. 35. — P. 1-6.

277. Пономарёв Е.И., Иванов В.А. Спутниковый мониторинг динамики

экстремальных пожаров // Хвойные бореальной зоны. — 2012. — Т. 30. — № 3-4. — С. 307-311.

278. Bartalev S., Egorov V., Efremov V., Flitman E., Loupian E., Stytsenko F.V. Assessment of Burned Forest Areas over the Russian Federation from MODIS and Landsat-TM/ETM+ Imagery // Global Forest Monitoring from Earth Observation. — 2016. — P. 245-271.

279. Егоров В.А., Барталев С.А., Лупян Е.А., Уваров И.А. Мониторинг повреждений растительного покрова пожарами по данным спутниковых наблюдений // Известия вузов: геодезия и аэрофотосъемка. — 2006. — № 2. — С. 98-109.

280. Барталев С.А., Лупян Е.А., Стыщенко Ф.В., Панова О.Ю., Ефремов В.Ю. Экспресс-картографирование повреждений лесов России пожарами по спутниковым данным Landsat // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2014. — Т. 11. — № 1. — С. 9-20.

281. Стыщенко Ф.В., Барталев С.А., Егоров В.А., Лупян Е.А. Метод оценки степени повреждения лесов пожарами на основе спутниковых данных MODIS // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2013. — Т. 10. — № 1. — С. 254-266.

282. Флитман Е.В., Балашов И.В., Бурцев М.А., Галеев А.А., Егоров В.А., Котельников Р.В., Лупян Е.А., Мазуров А.А., Матвеева А.М., Прошин А.А. Построение системы работы с данными прибора MODIS для решения задач мониторинга лесных пожаров и их последствий // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. — 2011. — Т. 8. — № 3. — С. 127-138.

283. Wilk M.B., Gnanadesikan R. Probability plotting methods for the analysis of data // *Biometrika*. — 1968. — Т. 55. — № 1. — С. 1-17.

284. Разработка научно обоснованных предложений по распределению сил и средств лесопожарных формирований по уровням лесопожарной охраны для контроля пожарной обстановки на землях лесного фонда на труднодоступных и

удаленных территориях Республики Саха (Якутия) : отчет о НИР (заключительный) / ФБУ ВНИИЛМ / рук. Котельников Р.В., Буряк Л.В., Агеев А.А., Павличенко Е.А., Костылев Б.В., Чугаев А.Н., Зленко Л.В., Морозов А.С., Ачиколова Ю.С., Салцевич Ю.В. — Красноярск, 2020. — 131 с. — Рег. № НИОКТР АААА-А20-120072390016-1.

285. Приказ Рослесхоза от 05.08.2020 № 753 "Об установлении лесопожарного зонирования земель лесного фонда и признании утратившим силу приказа Федерального агентства лесного хозяйства от 07.06.2018 № 468". — URL: <http://rosleshoz.gov.ru/documents> (дата обращения: 22.08.2020).

ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ОХРАНЫ ЛЕСОВ ОТ ПОЖАРОВ

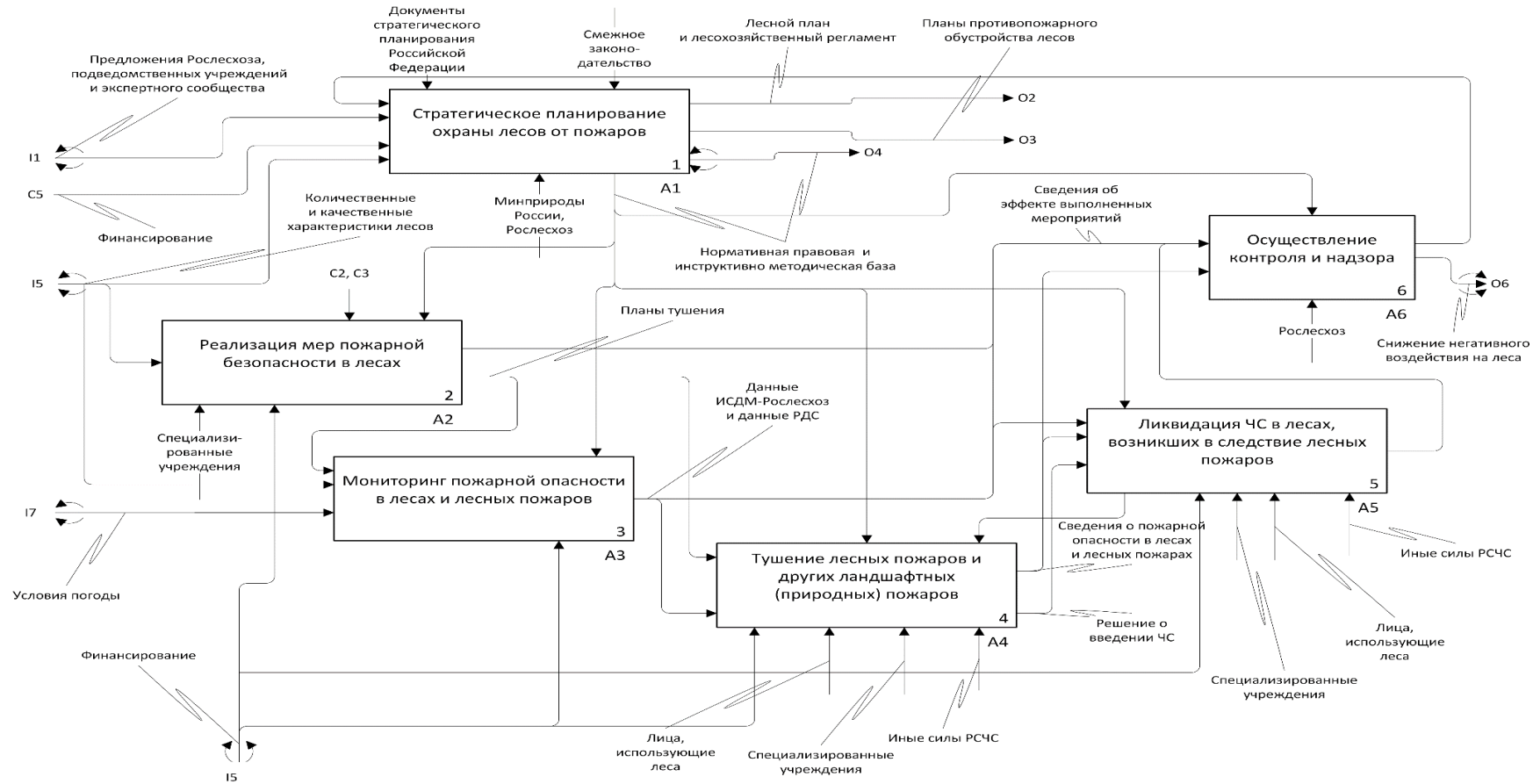


Рисунок А. 1 – Декомпозиция контекстной диаграммы А0. Охранять леса от пожаров

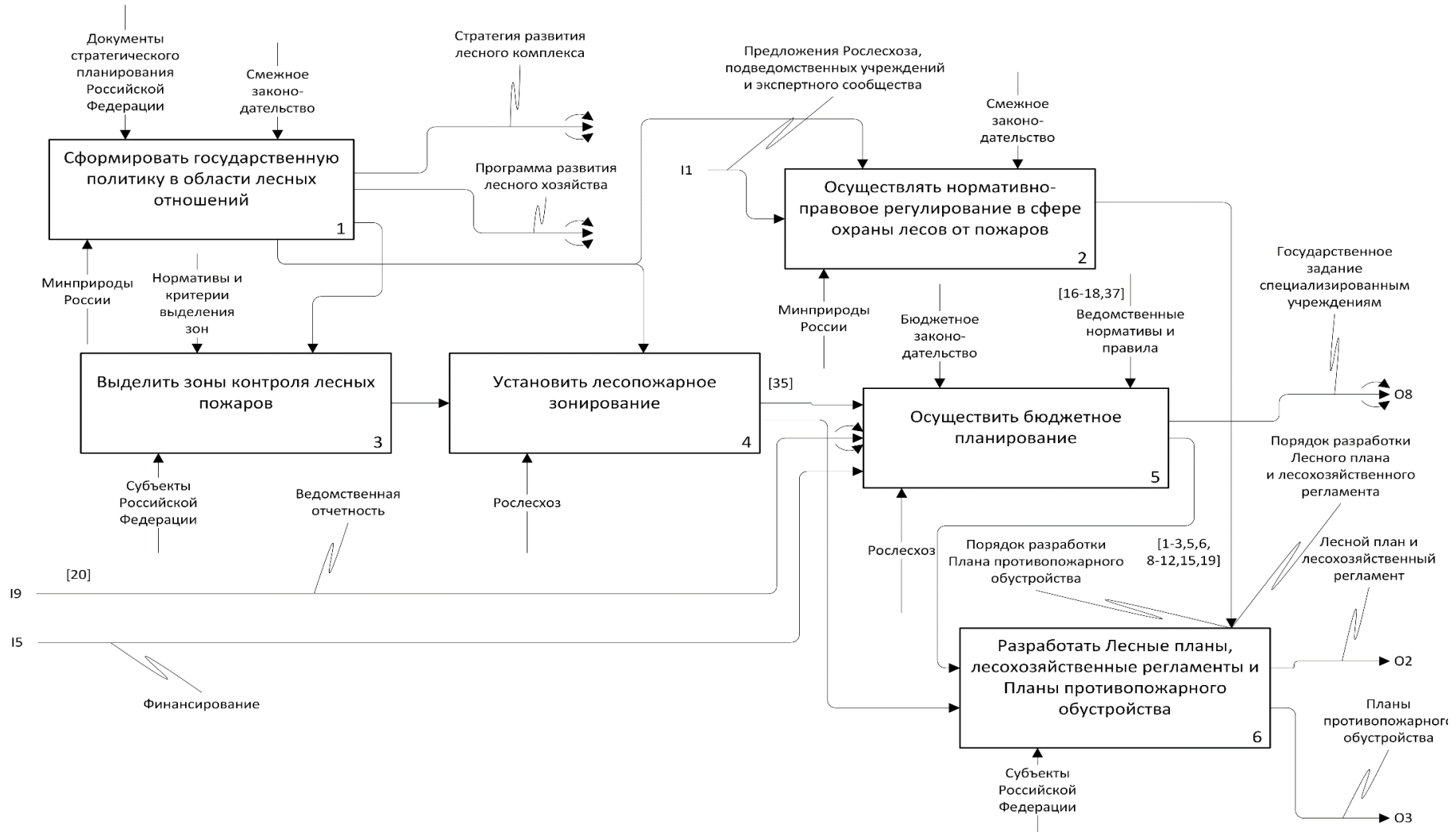


Рисунок А. 2 – Декомпозиция блока А1. Стратегическое планирование охраны лесов от пожаров

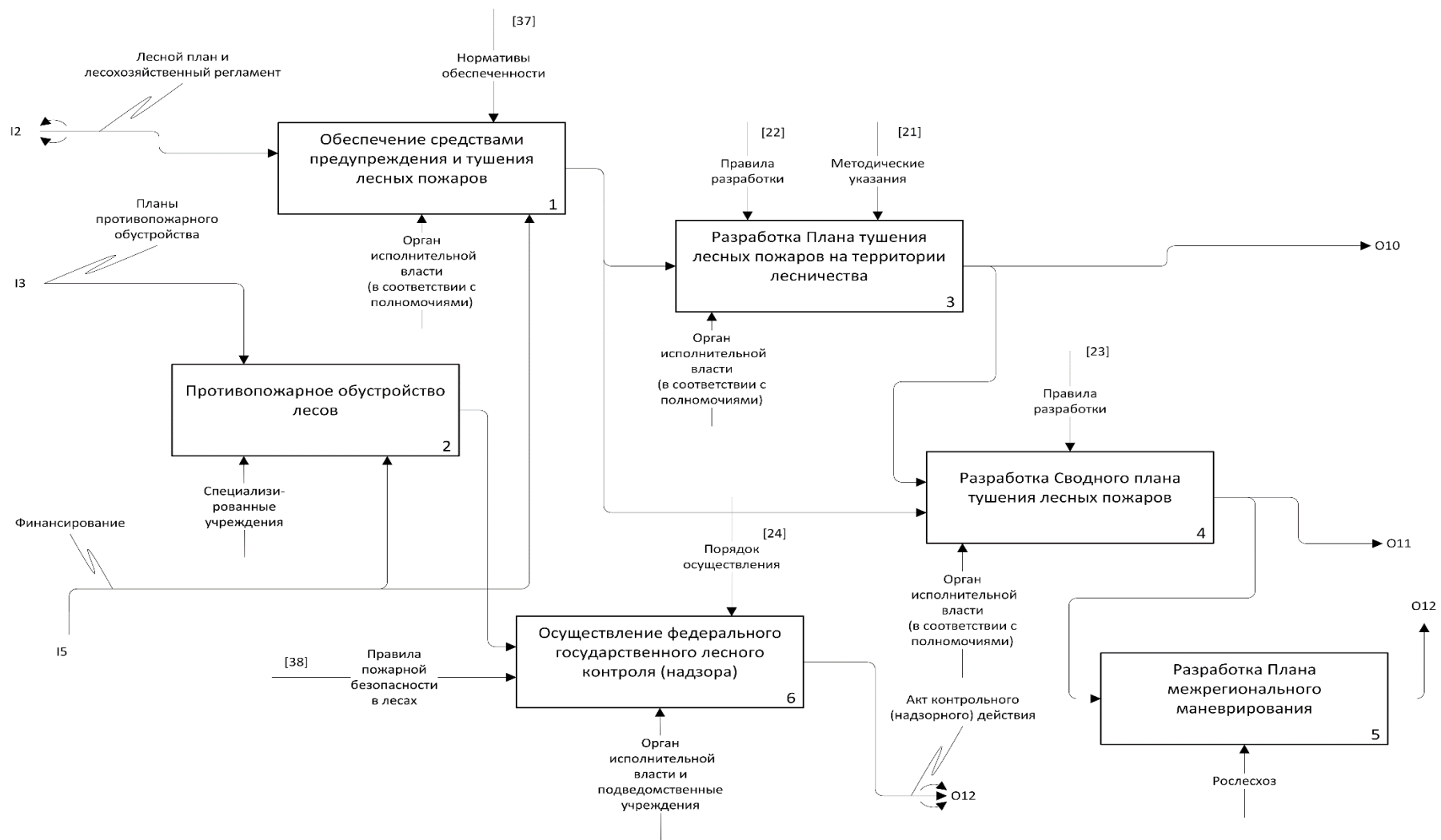


Рисунок А. 3 – Декомпозиция блока А2. Реализация мер пожарной безопасности в лесах



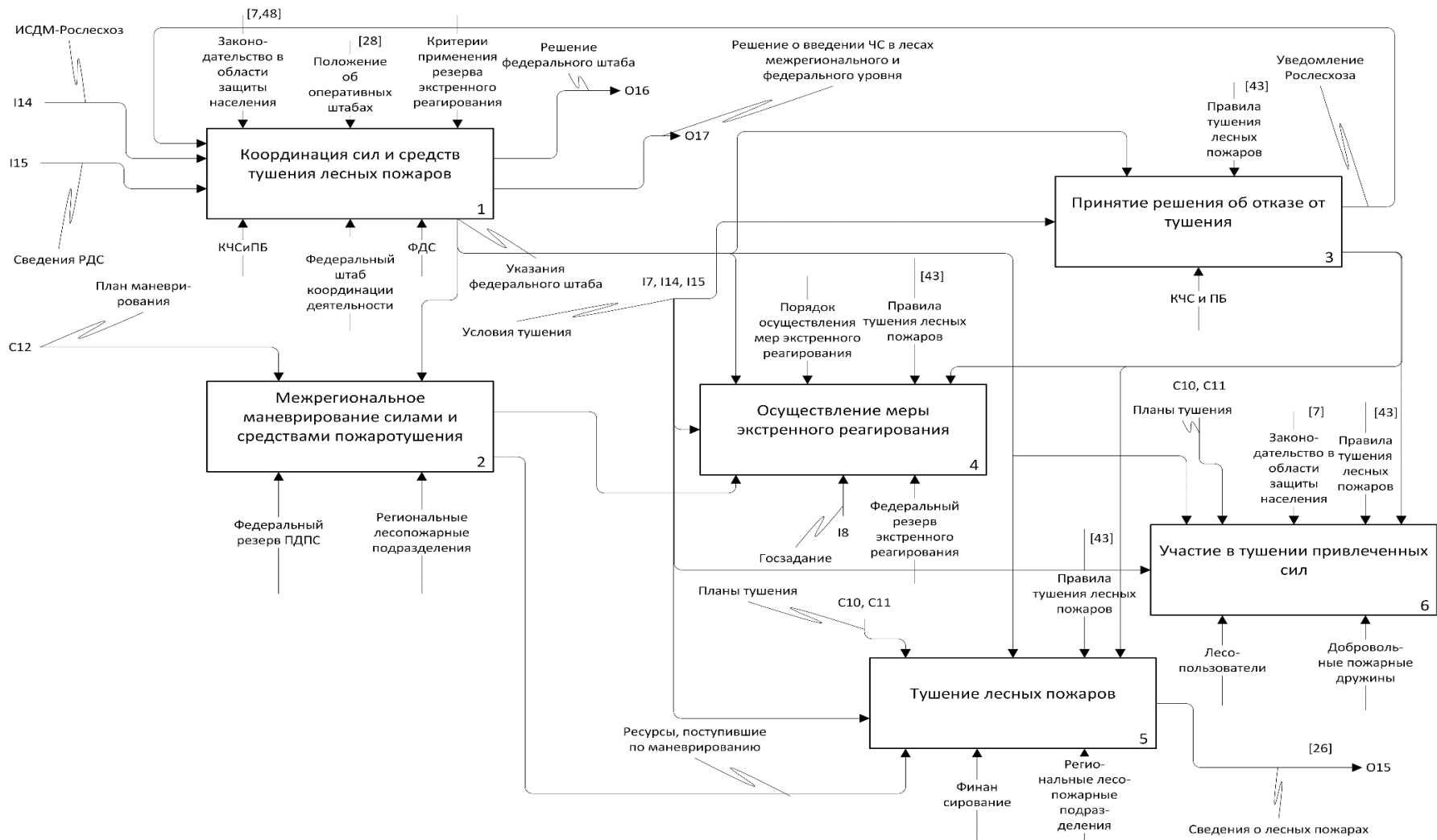


Рисунок А. 5 – Декомпозиция блока А4. Тушение лесных пожаров и других ландшафтных (природных) пожаров

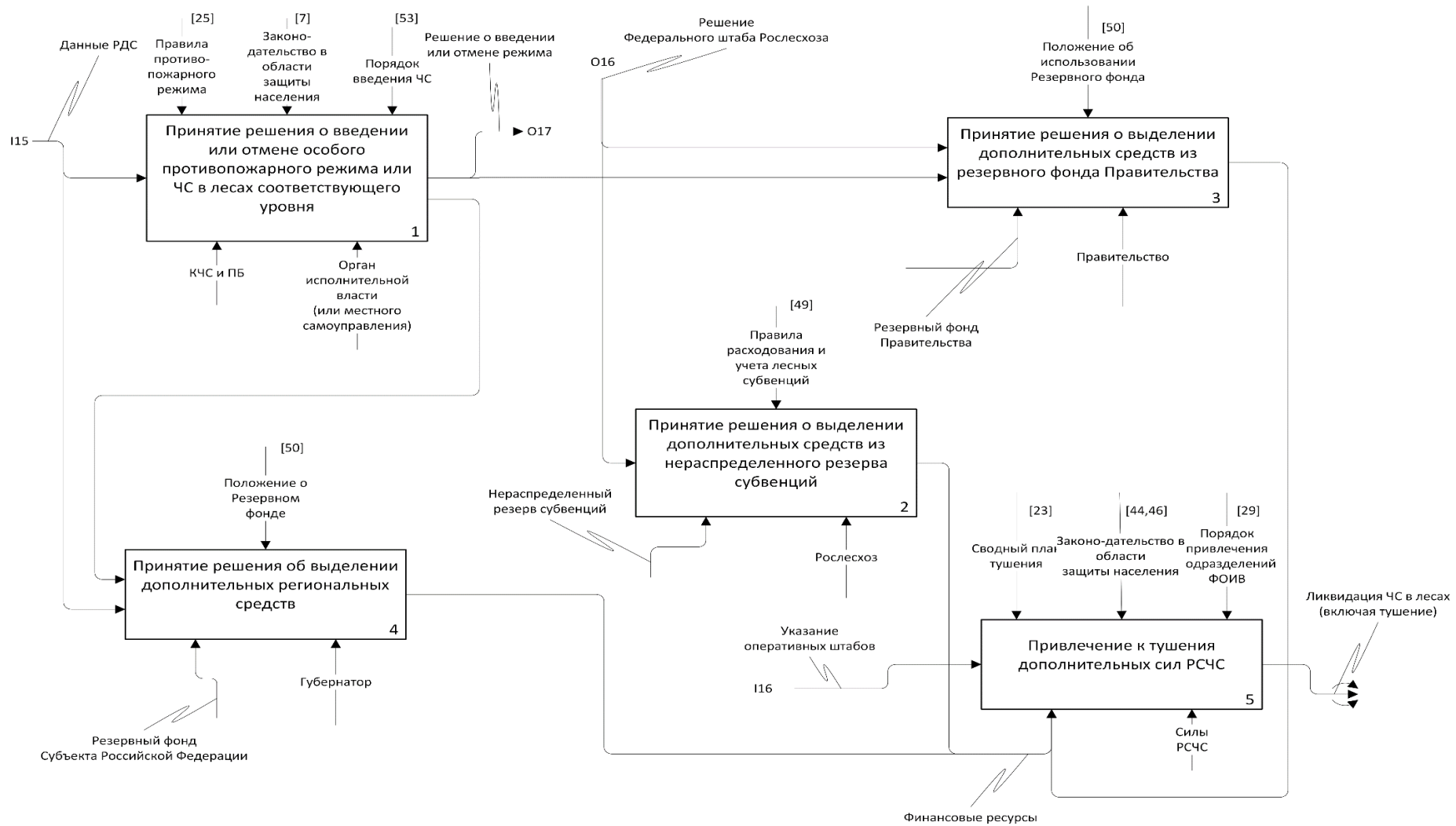


Рисунок А. 6 – Декомпозиция блока А5. Ликвидация ЧС в лесах, возникших в следствие лесных пожаров

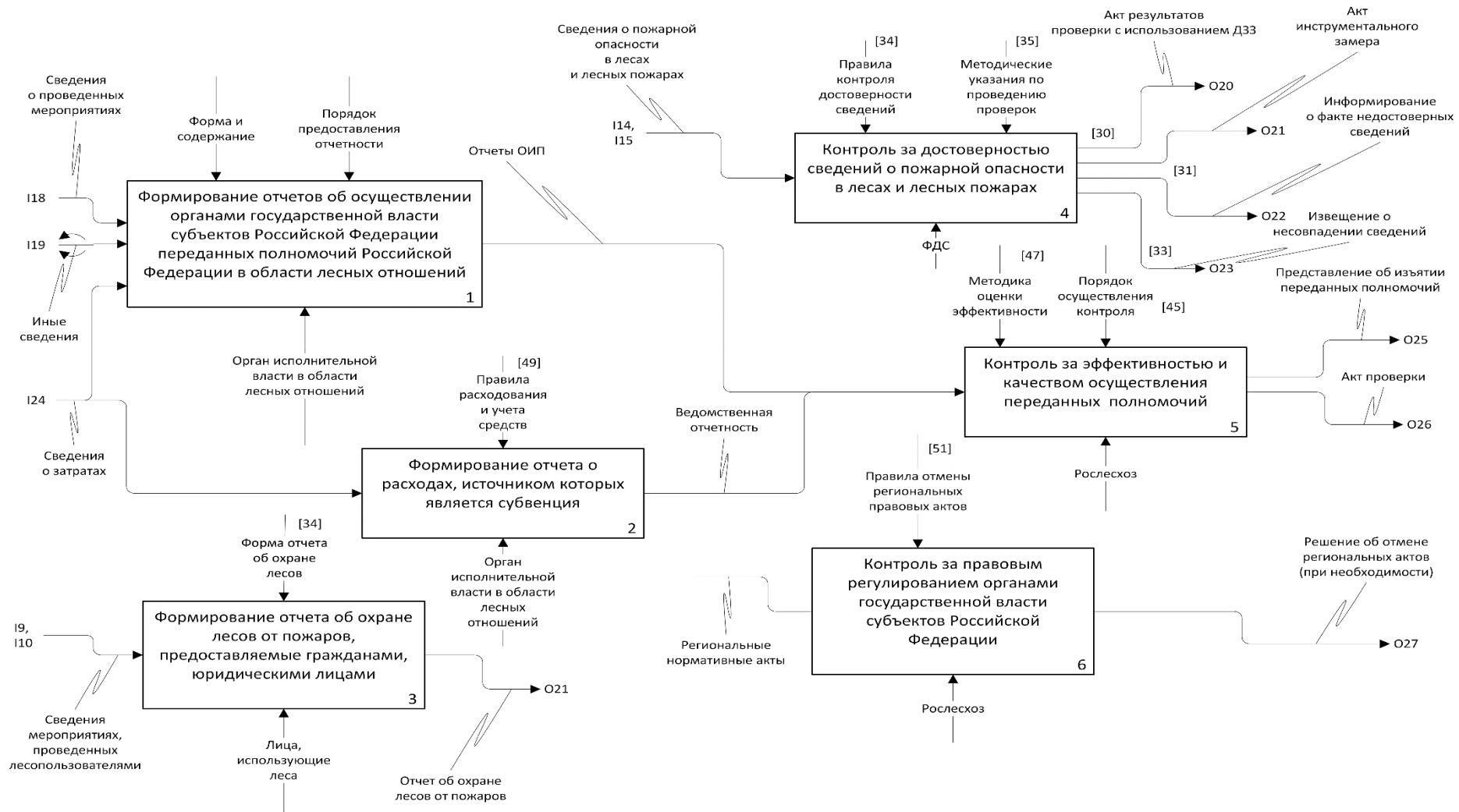


Рисунок А. 7 – Декомпозиция блока А6. Контроль и надзор

Таблица А. 1 – Описания информационно-управляющих потоков, указанных на функциональной схеме

Код	Пояснение	Ссылка на нормативные правовые акты (только ключевые)
1	Предложения Рослесхоза, подведомственных учреждений и экспертного сообщества	
2	Лесной план и лесохозяйственный регламент	[1,2]
3	Планы противопожарного обустройства лесов	[3-6,8-15,19]
4	Нормативно-правовая и инструктивно методическая база в области лесного хозяйства	
5	Финансирование	[16-18]
6	Снижение негативного воздействия на леса	
7	Условия погоды (данные Гидрометцентра России)	
8	Государственное задание государственным учреждениям	
9	Ведомственная отчетность	[20]
10	План тушения лесных пожаров на территории лесничества	[21,22]
11	Сводный план тушения лесных пожаров на территории Лесхоза	[23]
12	План межрегионального маневрирования	
13	Акт контрольного (надзорного) действия	[24]
14	Данные Информационной системы дистанционного мониторинга лесных пожаров ИСДМ-Рослесхоз (детектированные тепловые аномалии)	[25]
15	Сведения региональных диспетчерских служб (РДС) (сведения о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах)	[27,42]
16	Решение оперативных штабов по тушению лесных пожаров	[29,30]
17	Решение о введении (или отмене) чрезвычайной ситуации в лесах, возникшей в следствие лесных пожаров, межрегионального и федерального уровня	[7,25,53]
18	Сведения о проведенных мероприятиях	[42]
19	Иные сведения, предусмотренные утвержденным Порядком предоставления отчетности	[20]
20	Акт результатов проверки площадей лесных пожаров с использованием ДЗЗ	[30]
21	Акт инструментального замера площадей лесных пожаров	[31]
22	Информирование о факте недостоверных сведений	[33]
23	Извещение о несовпадении сведений о лесных пожарах	[33]
24	Затраты на проведенные мероприятия	[49]
25	Представление об изъятии переданных полномочий	[45]
26	Акт проверки	[45]
27	Решение об отмене региональных актов в области лесных отношений (при необходимости)	[51]
28	Отчет об охране лесов от пожаров	[34]

На схемах (рисунок А.1 – рисунок А.7) и в таблице А.1 номерами в квадратных скобках обозначены следующие нормативные правовые акты:

1. Приказ Минприроды России от 20.12.2017 № 692 "Об утверждении типовой формы и состава лесного плана субъекта Российской Федерации, порядка его подготовки и внесения в него изменений". - URL: <http://docs.cntd.ru/document/542616941> (дата обращения: 18.09.2019).

2. Приказ Минприроды России от 27.02.2017 № 72 "Об утверждении состава лесохозяйственных регламентов, порядка их разработки, сроков их действия и порядка внесения в них изменений". - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_214903/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_214903/) (дата обращения: 21.06.2019).

3. ГОСТ Р 57972-2017 "Объекты противопожарного обустройства лесов. Общие требования". - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200157751> (дата обращения: 18.05.2021).

4. Постановление Правительства Российской Федерации от 16.04.2011 № 281 "О мерах противопожарного обустройства лесов". - URL: <http://docs.cntd.ru/document/902273734> (дата обращения: 18.05.2021).

5. Приказ Рослесхоза от 27.04.2012 № 174 "Об утверждении Нормативов противопожарного обустройства лесов". - URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-rosleskhoza-ot-27042012-n-174-ob/> (дата обращения: 18.05.2021).

6. Приказ Минприроды России от 05.08.2020 № 565 "Об утверждении Порядка проектирования, создания, содержания и эксплуатации объектов лесной инфраструктуры". - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202011230067> (дата обращения: 11.04.2021).

7. Федеральный закон от 21.12.1994 № 69-ФЗ "О пожарной безопасности". -

URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5438/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5438/) (дата обращения: 18.05.2021).

8. СП 318.1325800.2017. Свод правил. "Дороги лесные. Правила эксплуатации", утверждены приказом Минстроя России от 25.12.2017 № 1713/пр. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/556610333> (дата обращения: 18.05.2021).

9. СП 288.1325800.2016. Свод правил. "Дороги лесные. Правила проектирования и строительства", утверждены приказом Минстроя России от 16.12.2016 № 952/пр. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/456069592> (дата обращения: 30.05.2019).

10. Приказ Минтранса России от 04.03.2011 № 69 "Об утверждении Федеральных авиационных правил "Требования к посадочным площадкам, расположенным на участке земли или акватории". - URL: <https://base.garant.ru/12184816/> (дата обращения: 11.04.2021).

11. ГОСТ Р 58376-2019. Национальный стандарт Российской Федерации. Мелиоративные системы и гидротехнические сооружения. Эксплуатация. Общие требования". - URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200163279> (дата обращения: 18.05.2021).

12. Приказ Минсельхоза России от 15.05.2019 № 255 "Об утверждении Порядка разработки, согласования и утверждения проектов мелиорации земель". - URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/72717364/> (дата обращения: 18.05.2021).

13. Приказ Минприроды России 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". - URL: <http://docs.cntd.ru/document/561233303> (дата обращения:

18.05.2021).

14. Федеральный закон от 22.07.2008 № 123-ФЗ "Технический регламент о требованиях пожарной безопасности". - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_78699/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_78699/) (дата обращения: 18.05.2021).

15. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 17.07.2012 № 1283-р "Об утверждении Перечня объектов лесной инфраструктуры для защитных лесов, эксплуатационных лесов и резервных лесов". - URL: <http://docs.cntd.ru/document/902358990> (дата обращения: 08.08.2020).

16. Постановление Правительства Российской Федерации от 11.09.2020 № 1404 "Об утверждении Правил определения общего объема субвенций, предоставляемых из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации для осуществления полномочий Российской Федерации в области лесных отношений, переданных в соответствии с частью 1 статьи 83 Лесного кодекса Российской Федерации". - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202009150016> (дата обращения: 15.04.2021).

17. Приказ Рослесхоза от 29.06.2020 № 607 "Об утверждении нормативов затрат на оказание государственных работ (услуг) по охране, защите, воспроизводству лесов, лесоразведению и лесоустройству и о признании утратившим силу приказа Федерального агентства лесного хозяйства от 19 июня 2019 г. № 762". - URL: <https://base.garant.ru/74947552/> (дата обращения: 05.08.2023).

18. Постановление Правительства Российской Федерации от 25.11.2021 № 2046 "Об утверждении методики распределения между субъектами Российской Федерации субвенций из федерального бюджета для осуществления отдельных полномочий Российской Федерации в области лесных отношений, реализация которых передана органам государственной власти субъектов Российской Федерации". - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_2046/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_2046/) (дата обращения: 18.05.2021).

Федерации, и о признании утратившими силу некоторых решений Правительства Российской Федерации". - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/document/0001202111300035> (дата обращения: 28.02.2022).

19. Приказ Рослесхоза от 05.07.2011 № 287 "Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды". - URL: <http://docs.cntd.ru/document/902289183> (дата обращения: 18.05.2021).

20. Приказ Минприроды России от 01.03.2022 № 144 "Об установлении форм, содержания и порядка представления отчетности об осуществлении органами государственной власти субъектов Российской Федерации переданных в соответствии с частью 1 статьи 83 Лесного кодекса Российской Федерации полномочий Российской Федерации в области лесных отношений". - URL: <https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=421309> (дата обращения: 02.06.2022).

21. Приказ Минприроды России от 16.12.2013 № 591 "Об утверждении Методических указаний по заполнению формы плана тушения лесных пожаров". - URL: <https://base.garant.ru/70620516/> (дата обращения: 18.05.2021).

22. Постановление Правительства Российской Федерации от 17.05.2011 № 377 "Об утверждении Правил разработки и утверждения плана тушения лесных пожаров и его формы". - URL: <https://base.garant.ru/12185983/> (дата обращения: 18.05.2021).

23. Постановление Правительства Российской Федерации от 18.05.2011 № 378 "Об утверждении Правил разработки сводного плана тушения лесных пожаров на территории субъекта Российской Федерации". - URL: <https://base.garant.ru/12185984/> (дата обращения: 25.05.2020).

24. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.06.2021 № 1098 "О федеральном государственном лесном контроле (надзоре)". - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202107020119> (дата обращения: 16.12.2021).

25. Информационная система дистанционного мониторинга лесных пожаров Федерального агентства лесного хозяйства (ИСДМ-Рослесхоз). - URL: [https://nffc.aviales.ru/main\\_pages/index.shtml](https://nffc.aviales.ru/main_pages/index.shtml) (дата обращения: 18.05.2021).

26. Приказ Рослесхоза 5.05.2016 № 277 "Об утверждении Методических указаний по измерению площади, пройденной огнем при лесном пожаре". - URL: <http://docs.cntd.ru/document/420356601> (дата обращения: 18.05.2021).

27. Приказ Рослесхоза от 28.05.2012 № 218 "Об утверждении Методических указаний по вопросам организации и функционирования специализированных диспетчерских служб органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, уполномоченных в области лесных отношений". - URL: <http://docs.cntd.ru/document/902352000> (дата обращения: 28.04.2019).

28. Постановление Правительства Российской Федерации от 09.02.2017 № 157 "Об утверждении Положения о формировании штабов по координации деятельности по тушению лесных пожаров". - URL: <https://base.garant.ru/71609320/> (дата обращения: 18.05.2021).

29. Постановление Правительства Российской Федерации от 02.12.2017 № 1464 "О привлечении сил и средств федеральных органов исполнительной власти для ликвидации чрезвычайных ситуаций в лесах, возникших вследствие лесных пожаров". - URL: <https://base.garant.ru/71824942/> (дата обращения: 18.05.2021).

30. Приказ Минприроды России от 13.10.2014 № 437 "Об утверждении Методики проведения проверки достоверности сведений о площади лесных пожаров с использованием данных дистанционного зондирования Земли высокого

пространственного разрешения". - URL: <https://legalacts.ru/doc/prikaz-minprirody-rossii-ot-13102014-n-437/> (дата обращения: 15.04.2021).

31. Приказ Минприроды России от 23.06.2014 № 275 "Об утверждении Методики инструментального замера площади лесного пожара". - URL: <https://docs.cntd.ru/document/420206610> (дата обращения: 15.04.2021).

32. Постановление Правительства Российской Федерации от 18.08.2011 № 687 "Об утверждении Правил осуществления контроля за достоверностью сведений о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах". - URL: <https://base.garant.ru/12188917/> (дата обращения: 18.05.2021).

33. Приказ Минприроды России от 05.12.2014 № 540 "Об утверждении Методики осуществления оперативного контроля за достоверностью сведений о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах". - URL: <https://docs.cntd.ru/document/420242400> (дата обращения: 15.04.2021).

34. Приказ Минприроды России от 09.03.2017 № 78 "Об утверждении перечня информации, включаемой в отчет об охране лесов от пожаров, формы и порядка представления отчета об охране лесов от пожаров, а также требований к формату отчета об охране лесов от пожаров в электронной форме, перечня информации, включаемой в отчет о защите лесов, формы и порядка представления отчета о защите лесов, а также требований к формату отчета о защите лесов в электронной форме". - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_217704/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_217704/) (дата обращения: 22.06.2021).

35. Приказ Рослесхоза от 26.01.2022 № 22 "Об установлении лесопожарного зонирования земель лесного фонда и признании утратившим силу приказа Федерального агентства лесного хозяйства от 05.08.2020 № 753". - URL: [https://firescience.ru/project/lpzon/prikaz22ot26\\_01\\_2022.pdf](https://firescience.ru/project/lpzon/prikaz22ot26_01_2022.pdf) (дата обращения: 11.04.2022).

36. Приказ Минприроды России от 28.03.2014 № 161 "Об утверждении видов

средств предупреждения и тушения лесных пожаров, нормативов обеспеченности данными средствами лиц, использующих леса, норм наличия средств предупреждения и тушения лесных пожаров при использовании лесов". - URL: <https://docs.cntd.ru/document/499089869> (дата обращения: 09.11.2021).

37. Распоряжение Правительства Российской Федерации от 19.07.2019 № 1605-р "Об утверждении нормативов обеспеченности субъекта Российской Федерации лесопожарными формированиями, пожарной техникой и оборудованием, противопожарным снаряжением и инвентарем, иными средствами предупреждения и тушения лесных пожаров". - URL: <http://government.ru/docs/all/122912/> (дата обращения: 01.09.2020).

38. Постановление Правительства Российской Федерации от 07.10.2020 № 1614 "Об утверждении Правил пожарной безопасности в лесах". - URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74639511/> (дата обращения: 18.05.2021).

39. Постановление Правительства Российской Федерации от 16.09.2020 № 1479 "Об утверждении Правил противопожарного режима в Российской Федерации". - URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/74580206/> (дата обращения: 01.10.2020).

40. Приказ Рослесхоза от 23.06.2014 № 276 "Об утверждении Порядка осуществления мониторинга пожарной опасности в лесах и лесных пожаров". - URL: <http://docs.cntd.ru/document/420206611> (дата обращения: 18.05.2021).

41. Приказ Министерства природных ресурсов и экологии Российской Федерации от 15.11.2016 № 597 "Об утверждении Порядка организации и выполнения авиационных работ по охране лесов от пожаров и Порядка организации и выполнения авиационных работ по защите лесов". - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_214709/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_214709/) (дата обращения: 18.05.2021).

42. Приказ Минприроды России от 22.07.2014 № 331 "Об утверждении состава

и формы предоставления сведений о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах". - URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/70634728/> (дата обращения: 18.05.2021).

43. Приказ Минприроды России от 01.04.2022 № 244 "Об утверждении Правил тушения лесных пожаров". - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001202208120026?ysclid=l6utqrjnm3394457136> (дата обращения: 18.08.2022).

44. Федеральный закон от 21.12.1994 № 68-ФЗ "О защите населения и территорий от чрезвычайных ситуаций природного и техногенного характера". - URL: [http://www.consultant.ru/document/cons\\_doc\\_LAW\\_5295/](http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_5295/) (дата обращения: 18.05.2021).

45. Приказ Минприроды России от 03.07.2019 № 434 "Об утверждении Порядка осуществления контроля за эффективностью и качеством осуществления органами государственной власти субъектов Российской Федерации переданных им для осуществления полномочий Российской Федерации в области лесных отношений". - URL: <https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73112144/> (дата обращения: 15.04.2021).

46. Постановление Правительства Российской Федерации от 30.12.2003 № 794 "О единой государственной системе предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций". - URL: <https://base.garant.ru/186620/> (дата обращения: 18.05.2021).

47. Приказ Минприроды России от 09.12.2014 № 545 "Об утверждении Методики оценки эффективности осуществления органами государственной власти субъектов Российской Федерации переданных в соответствии со статьей 83 Лесного кодекса Российской Федерации полномочий Российской Федерации в области лесных отношений". - URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201503240019> (дата обращения: 15.04.2021).

48. Приказ Рослесхоза от 11.08.2015 № 290 "Об утверждении Положения о функциональной подсистеме охраны лесов от пожаров и защиты их от вредителей и болезней леса единой государственной системы предупреждения и ликвидации чрезвычайных ситуаций. - URL: <https://docs.cntd.ru/document/420296474> (дата обращения: 18.05.2021).

49. Постановление Правительства Российской Федерации от 29.12.2006 N 837 "Об утверждении Правил расходования и учета средств, предоставляемых в виде субвенций из федерального бюджета бюджетам субъектов Российской Федерации на осуществление отдельных полномочий Российской Федерации в области лесных отношений". - URL: <https://base.garant.ru/12151342/> (дата обращения: 21.09.2018).

50. Постановление Правительства Российской Федерации от 26.12.2019 № 1846 "Об утверждении Положения об использовании бюджетных ассигнований резервного фонда Правительства Российской Федерации". - URL: <http://www.publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201912300084> (дата обращения: 10.08.2023).

51. Постановление Правительства Российской Федерации от 29.06.2011 № 524 "Об утверждении Правил отмены правовых актов органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации, осуществляющих переданные полномочия Российской Федерации в области лесных отношений". - URL: <https://base.garant.ru/12187545/> (дата обращения: 20.12.2021).

52. Приказ Минприроды России от 06.08.2015 № 347 "Об утверждении Методических указаний по заполнению форм сведений о пожарной опасности в лесах и лесных пожарах". - URL: <https://minjust.consultant.ru/documents/16229?ysclid=18ibtph3yp131824030> (дата обращения: 26.09.2022).

53. Постановление Правительства Российской Федерации от 17.05.2011 № 376 "О чрезвычайных ситуациях в лесах, возникших вследствие лесных пожаров". - URL: <https://base.garant.ru/12185977/> (дата обращения: 18.05.2021).

## ПРИЛОЖЕНИЕ Б

## ОПИСАНИЕ ИНТЕРАКТИВНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ПАНЕЛЕЙ

## 1. Дашборд "Календарные пожароопасные сезоны в лесах Российской Федерации"

Программа предназначена для расчета и визуализации основных параметров календарного пожароопасного сезона (далее – ПОС) в лесах и может использоваться для информационно-аналитической поддержки управленческих решений при стратегическом планировании охраны лесов от пожаров (рисунок б.1).

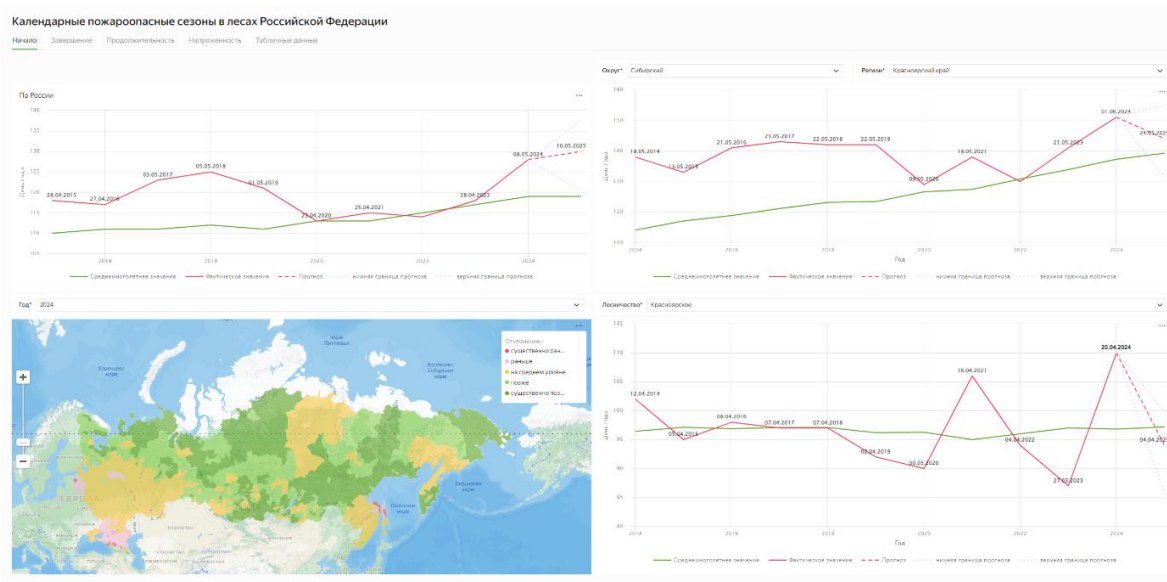


Рисунок Б.1 – Основная страница дашборда "Календарные пожароопасные сезоны в лесах Российской Федерации"

Исходные данные:

- температура воздуха на метеостанции;
- среднесуточное количество осадков на метеостанции;
- класс пожарной опасности в лесах по условиям погоды.

Состав программы:

Программа представляет собой совокупность баз данных СУБД PostgreSQL, автономных модулей для автоматизированной обработки данных на языке

PostgreSQL, а также совокупность сущностей, сконфигурированных в среде сервиса Yandex DataLens.

- база данных метеопараметров по метеостанции (источник – ИСДМ-Рослесхоз);
- база данных "Параметры календарных пожароопасных сезонов в Российской Федерации";
- база данных "Прогноз напряженности пожароопасного сезона";
- модуль расчета даты начала и завершения пожароопасного сезона по метеостанции;
- модуль расчета параметров календарного пожароопасного сезона в лесах в разрезе территориальных единиц;
- модуль подготовки обучающей выборки для прогноза основных параметров, характеризующих календарные пожароопасные сезоны в Российской Федерации;
- модуль обработки аномальных выбросов в данных;
- модуль прогнозирования основных параметров календарных пожароопасных сезонов в Российской Федерации;
- модуль расчета погрешности результатов прогнозирования основных параметров ПОС;
- модуль интерактивной визуализации данных в среде сервиса Yandex DataLens.

Функциональные возможности:

- расчет средневзвешенных (по площади) параметров пожароопасного сезона (дата начала, продолжительность, дата завершения, напряжённость ПОС) для основных территориальных единиц (лесничество, регион, Россия);
- статистическая оценка отклонений от среднегодовых значений (ниже нормы, на уровне нормы, выше нормы);
- статистический прогноз на один год вперед по каждому из параметров;

- статистическая оценка достоверности прогноза (по абсолютной и относительной ошибке);
- визуализация в виде графика (с шагом один год) по каждому из четырех показателей для России в целом среднемноголетнего и текущего значения;
- визуализация отклонений в виде графика (с шагом один год) по каждому из четырех показателей для субъектов Российской Федерации (с возможностью выбора федерального округа и субъекта для выбранного федерального округа) среднемноголетнего и текущего значения;
- визуализация отклонений в виде графика (с шагом один год) по каждому из четырех параметров для выбранного лесничества (с учетом выбранного ранее региона) среднемноголетнего и текущего значения;
- визуализация на интерактивной карте отклонений даты начала пожароопасного сезона (по цветовой шкале существенно раньше нормы, раньше, на среднем уровне, позже, существенно позже), вариант в разрезе лесничеств и вариант в разрезе регионов;
- визуализация на интерактивной карте отклонений продолжительности пожароопасного сезона (по цветовой шкале существенно короче, короче, на среднем уровне, дольше, существенно дольше), в разрезе лесничеств и в разрезе регионов;
- визуализация на интерактивной карте отклонений даты завершения пожароопасного сезона (по цветовой шкале существенно раньше нормы, раньше, на среднем уровне, позже, существенно позже), в разрезе лесничеств и в разрезе регионов;
- визуализация на интерактивной карте отклонений напряженности (доли дней с КПО 3 и выше) пожароопасного сезона (по цветовой шкале существенно выше, выше нормы, на среднем уровне, ниже нормы, существенно ниже нормы), в разрезе лесничеств и в разрезе регионов;

– визуализация в интерактивной таблице фактических параметров ПОС (дата начала; продолжительность в днях; дата завершения; напряженность, рассчитанная на основе КПО по шкале В.Г. Нестерова) с возможностью изменения уровня детализации (федеральный округ, субъект Российской Федерации, лесничество) и цветовым выделением ячеек с учетом содержания таблицы (по градиентной цветовой шкале) (рисунок Б.2);

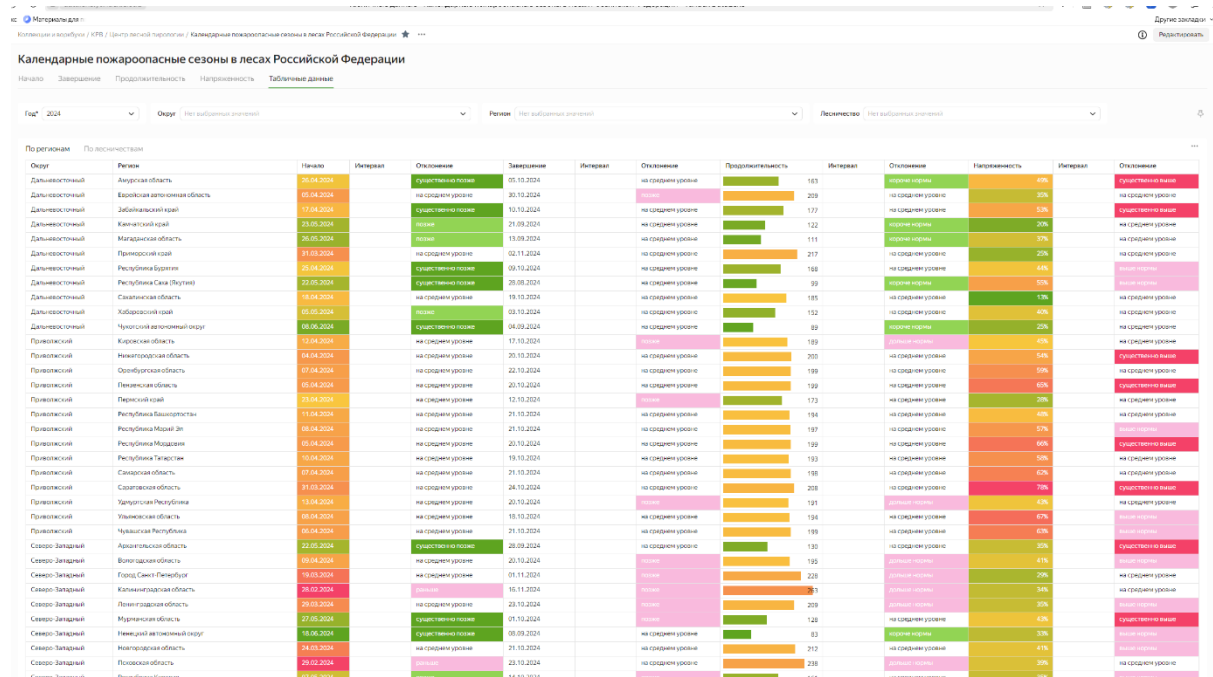


Рисунок Б.2 – Пример интерфейса программы (раздел "Табличные данные")

– визуализация прогноза (с горизонтом один год) параметров пожароопасного сезона (с указанием доверительного интервала) на один год в формате интерактивной таблицы с возможностью изменения уровня детализации и градиентным цветовым выделением ячеек;

– визуализация отклонения от среднееголетних значений по каждому показателю с цветовым выделением по градации (существенно ниже нормы, ниже нормы, на уровне среднееголетних значений, выше нормы, существенно выше нормы);

– доступ через интерактивную карту к следующим прогнозным значениям выбранного лесничества: прогноз начала (и доверительный интервал прогноза

в днях), тенденция изменения даты начала за последние 10 лет (дней в год), прогноз продолжительности сезона в днях (и доверительный интервал в днях), тенденция изменения продолжительности ПОС за последние 10 лет (дней в год), прогноз даты завершения ПОС (и доверительный интервал прогноза в днях), тенденция изменения даты завершения ПОС за последние 10 лет (дней в год), прогноз напряженности ПОС (и доверительный интервал прогноза в %), тенденция изменения напряженности ПОС за последние 10 лет (% в год).

## 2. Дашборд "Рекомендуемые шкалы пожарной опасности в лесах"

Программа для ЭВМ представляет собой совокупность программных модулей, для расчета границ шкал пожарной опасности в лесах, в зависимости от условий погоды, а также интерактивный веб-сервис визуализации результатов (рисунок б.3, рисунок б.4).

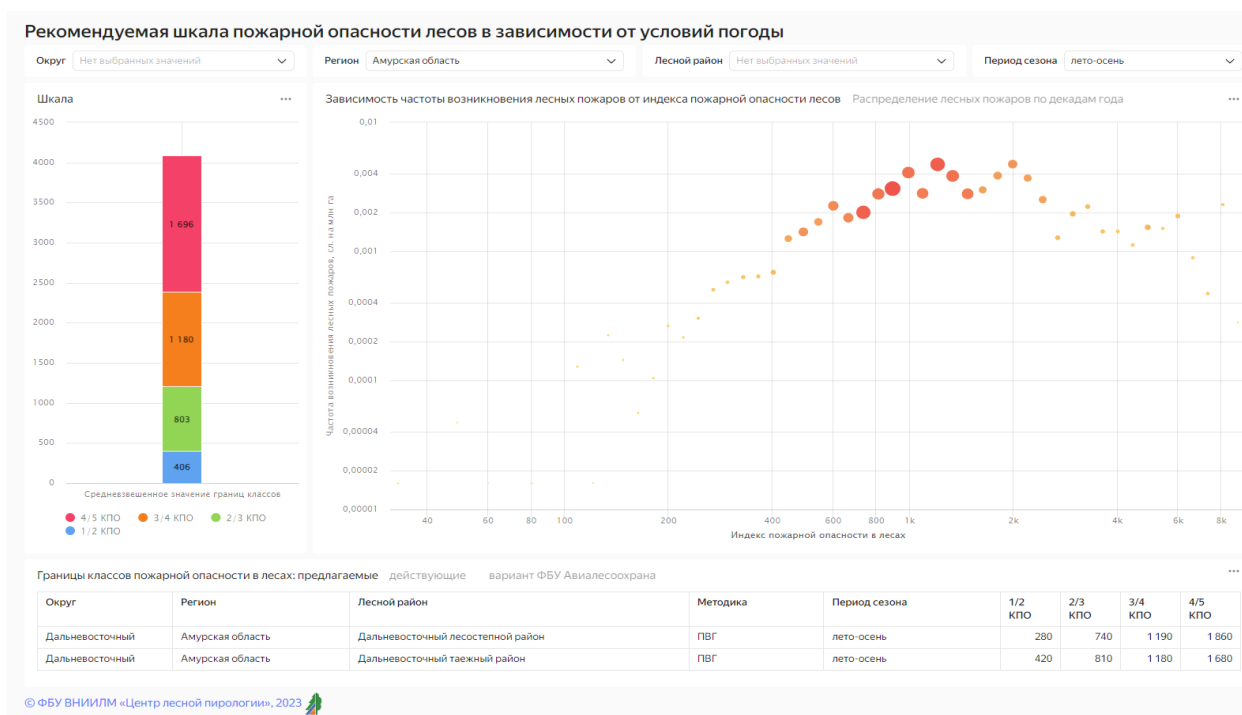


Рисунок Б.3 – Основная страница дашборда

Область применения: информационная поддержка управленческих решений в области охраны лесов от пожаров.

Функциональные возможности:

- расчет внутрисезонного характера горимости территорий;
- расчет границ классов пожарной опасности;
- возможность выбора для визуализации округа, региона, лесного района и периода пожароопасного сезона;
- визуализация зависимости частоты возникновения лесных пожаров от индекса пожарной опасности в лесах;
- визуализация распределения лесных пожаров по декадам.
- визуализация для выбранных условий границ классов в виде диаграммы;
- визуализация рекомендуемых границ классов в табличном виде;
- визуализация действующих границ классов в табличном виде.

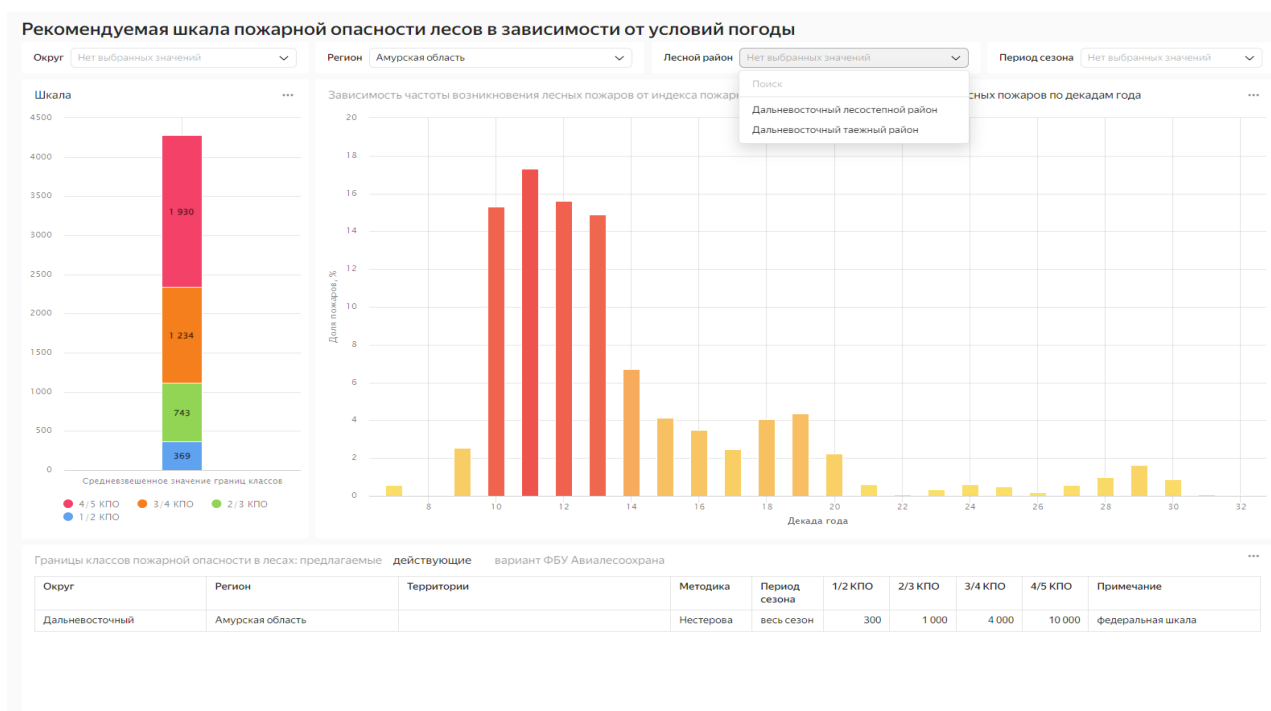


Рисунок Б.4 – Пример интерфейса с особенностями горимости по выбранному региону

### 3. Дашборд "Сравнение методик оценки пожарной опасности в лесах, в зависимости от условий погоды"

Программа для ЭВМ представляет собой совокупность программных модулей для сравнительного анализа существующих методик оценки пожарной

опасности в лесах в зависимости от условий погоды, а также визуализации результатов расчета (рисунок б.5).

Область применения: информационная поддержка управленческих решений в области охраны лесов от пожаров.

### Функциональные возможности:

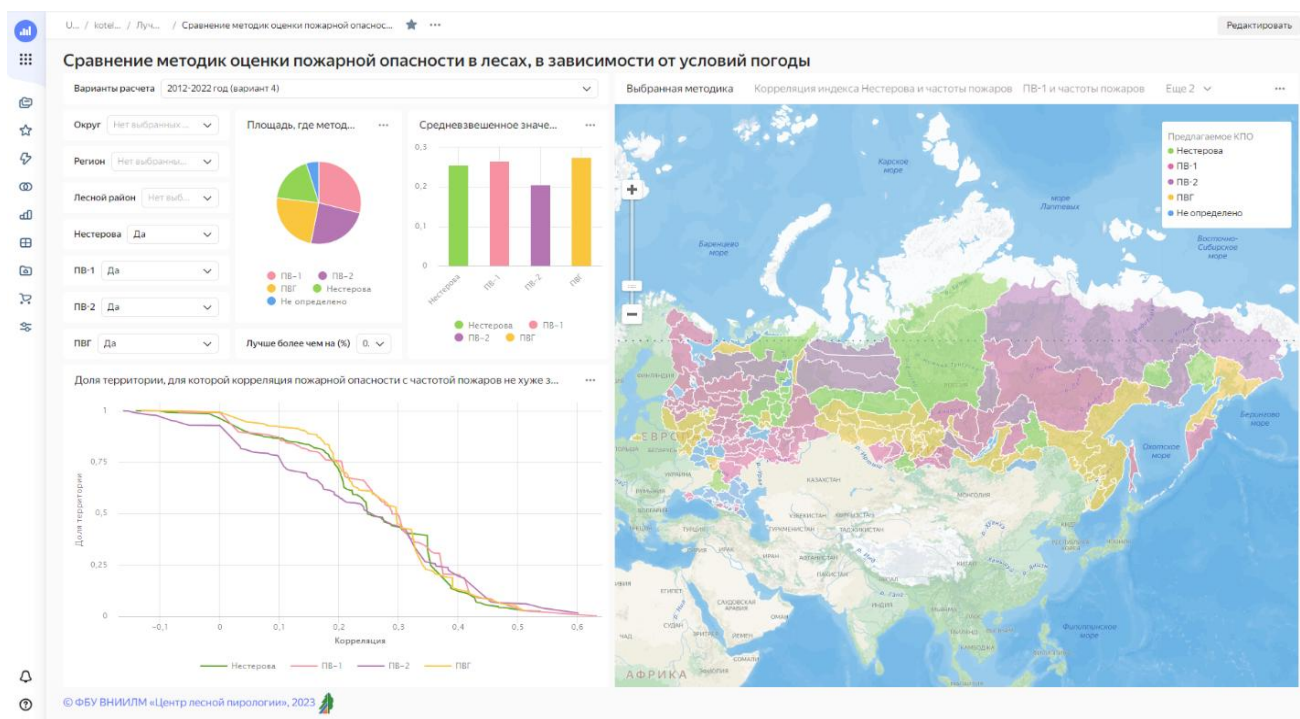


Рисунок Б.5 – Основная страница дашборда

- формирование выборки случаев с определенным значением индекса пожарной опасности в лесах, в зависимости от условий погоды и соответствующего значения частоты возникновения лесных пожаров;
- расчет корреляции между преобразованными (натуральным логарифмом) значениями индекса пожарной опасности и частоты лесных пожаров;
- возможность выбора для визуализации округа, региона, лесного района, допустимого порога для сравнения и интересующих методик;
- визуализация на карта-схемах в разрезе выбранных территорий значений корреляции и лучшей методики;
- визуализация доли площади с лучшей методикой.

визуализация взаимосвязи доли площади и корреляции.

#### 4. Дашборд "Визуализация динамики уровня охраны лесов"

Программа представляет собой интерактивный веб-сервис визуализации динамики уровня охраны лесов от пожаров и служит для визуализации ретроспективных данных о площади территорий лесов с различными преимущественными способами мониторинга и охраны (рисунок б.б). Может быть использована для анализа изменений лесопожарного зонирования и влияния различных административных подходов на увеличение или снижение горимости лесов.

Функциональные возможности:

- получение данных о динамике лесопожарного зонирования (начиная с 2005 года);
- выбор для визуализации федерального округа, региона, года;
- визуализация на гистограмме динамики структуры лесопожарного зонирования (в соответствии с приказом Рослесхоза);
- визуализация на линейном графике динамики доли активной охраны по годам;
- визуализация на круговой диаграмме структуры лесопожарного зонирования за выбранный год;
- отображение таблицы с данными о лесопожарном зонировании за конкретный год (в соответствии с приказом Рослесхоза);
- отображение ссылки на приказ об установлении лесопожарного зонирования земель лесного фонда за конкретный год.

Состав программного комплекса:

- база данных "Лесопожарное зонирование в Российской Федерации", содержащая текстовые и числовые данные о лесопожарном зонировании земель лесного фонда (отдельный объект правовой охраны);

- скрипт на языке `plpgsql` для предварительной обработки данных;
- совокупность датасетов, чартов и дашборда, подготовленных в сервисе DataLens для интерактивной визуализации динамики лесопожарного зонирования земель лесного фонда.

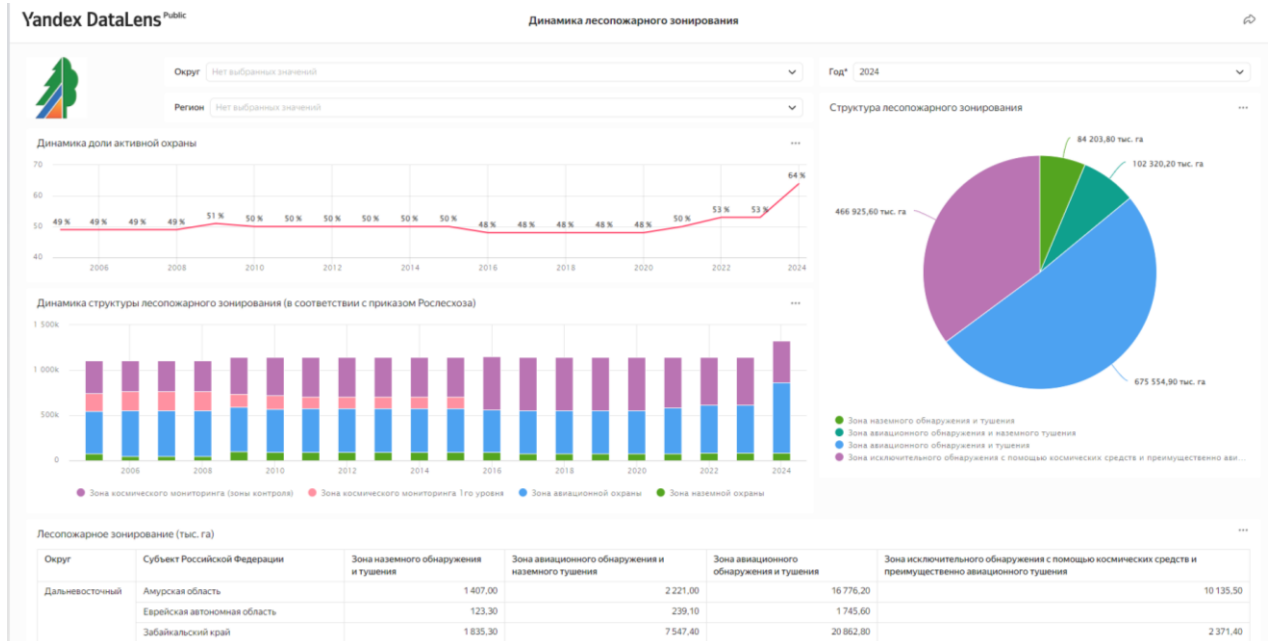


Рисунок Б.6 – Пример интерфейса с динамикой структуры лесопожарного зонирования

### 5. Дашборд "Визуализация динамики структуры финансирования мероприятий по охране лесов от пожаров"

Программа представляет интерактивный веб-сервис визуализации и предназначена для визуализации ретроспективных данных об объеме и структуре финансирования мероприятий по охране лесов от пожаров в регионах, федеральных округах и по России в целом по стране (рисунок б.7).

Может быть использована для анализа расходования средств на проведение мероприятий по охране лесов от пожаров и оценки эффективности этих мероприятий.

**Функциональные возможности:**

- получение данных о финансировании мероприятий по охране лесов от пожаров (начиная с 2013 года);
- выбор для визуализации федерального округа, региона, года;
- визуализация на графике динамики значений финансовых показателей;
- визуализация на гистограмме соотношения объемов финансирования в зависимости от источника;
- визуализация на гистограмме структуры затрат;
- визуализация на комбинированной гистограмме соотношения ущерба, затрат на охрану и пройденной огнем площади;
- отображение таблицы с данными;
- отображение выбранных данных в табличном виде;
- выбор вариантов отображения (в исходном виде или с учетом инфляции).

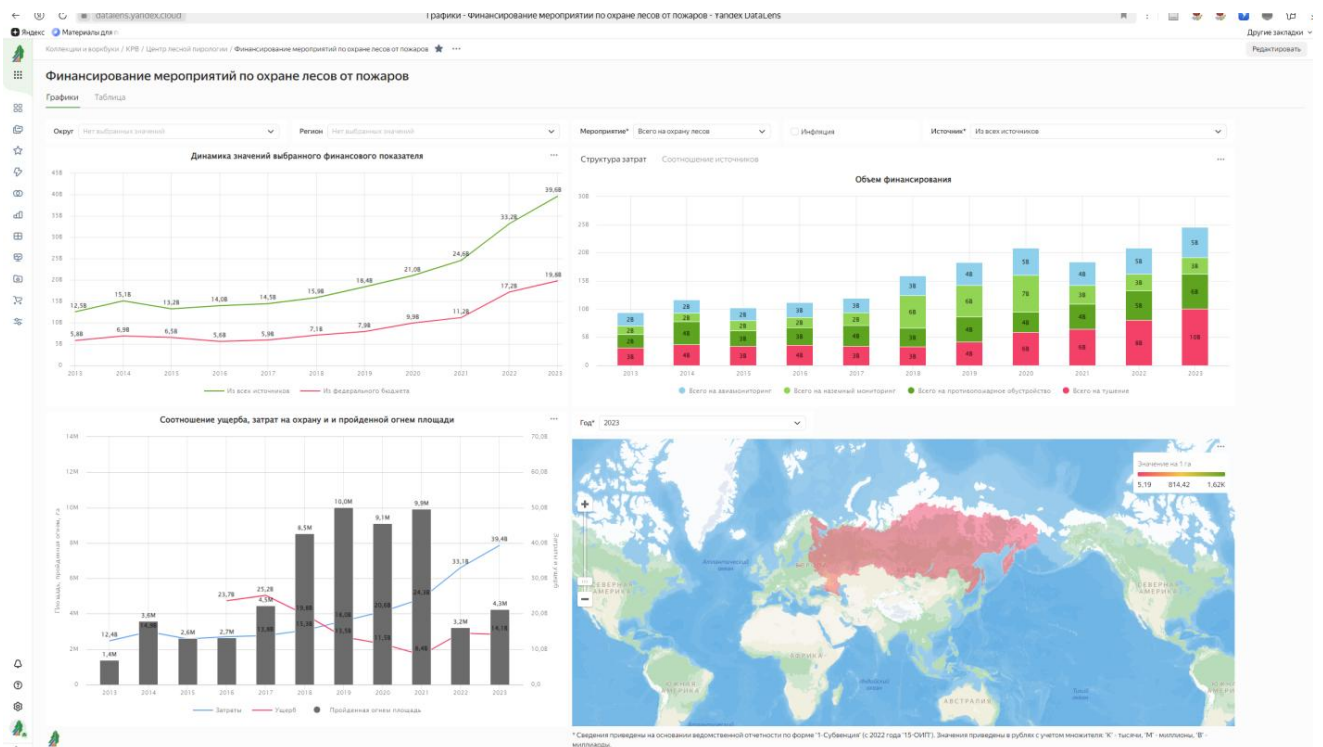


Рисунок Б.7 – Пример интерфейса с динамикой значений финансовых показателей

Состав программного комплекса:

- коннектор подключения к базе данных "Структура финансирования мероприятий по охране лесов от пожаров" (не входит в состав программного обеспечения), содержащей информацию о финансировании мероприятий по охране лесов от пожаров на территории Российской Федерации;
- скрипт на языке `plpgsql` для предварительной обработки данных;
- совокупность датасетов, чартов и дашборда, подготовленных в сервисе `DataLens` для интерактивной визуализации динамики структуры финансирования охраны лесов от пожаров

КАРТА-СХЕМЫ ПРОГНОЗА ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПОЖАРООПАСНОГО СЕЗОНА 2023 ГОДА,  
ФАКТИЧЕСКИЕ ЗНАЧЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ ОПРАВДЫВАЕМОСТИ



Рисунок В.1 – Прогноз начала пожароопасного сезона 2023 года

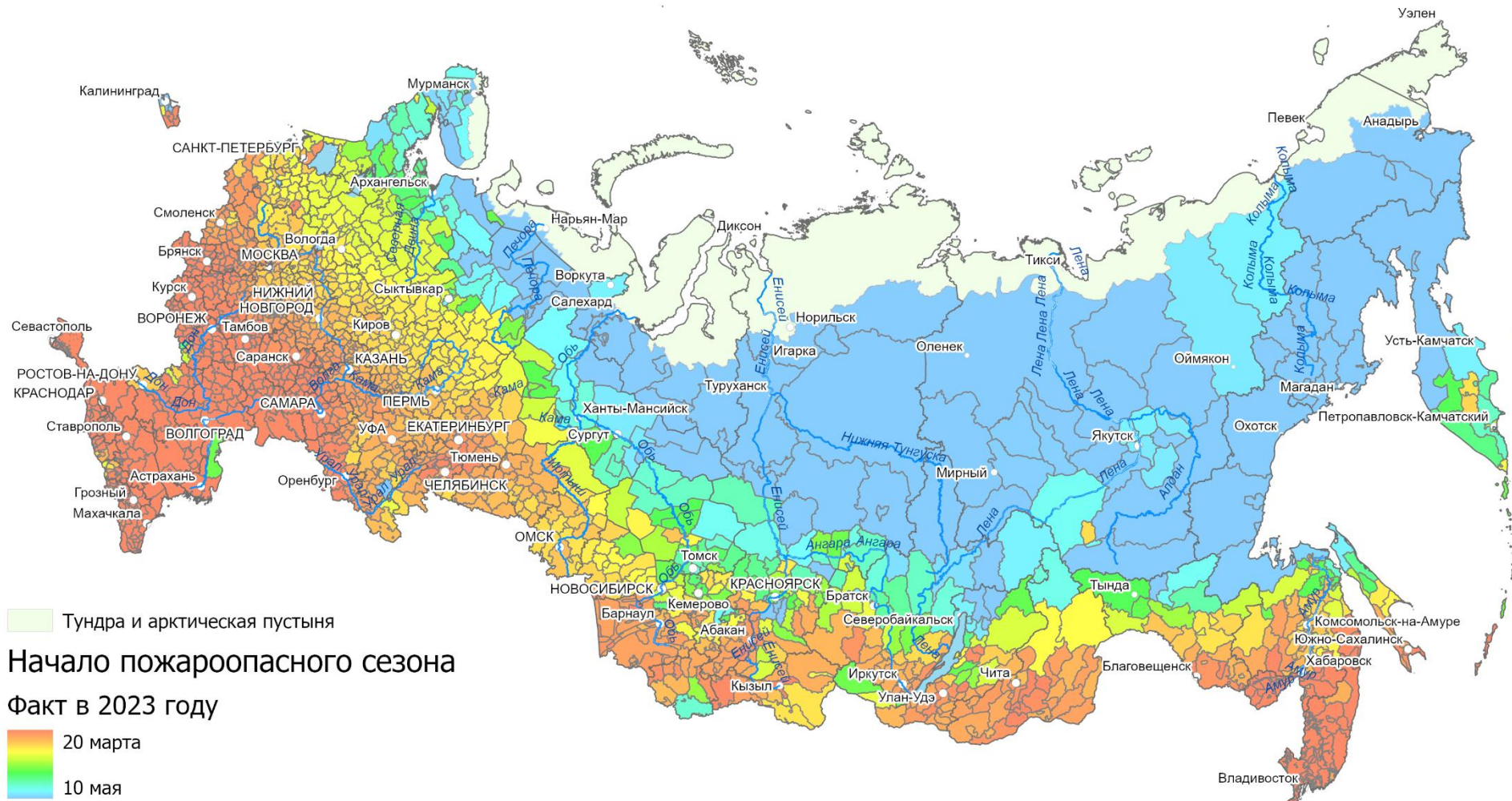


Рисунок В.2 – Фактическое начало пожароопасного сезона 2023 года по метеоданным

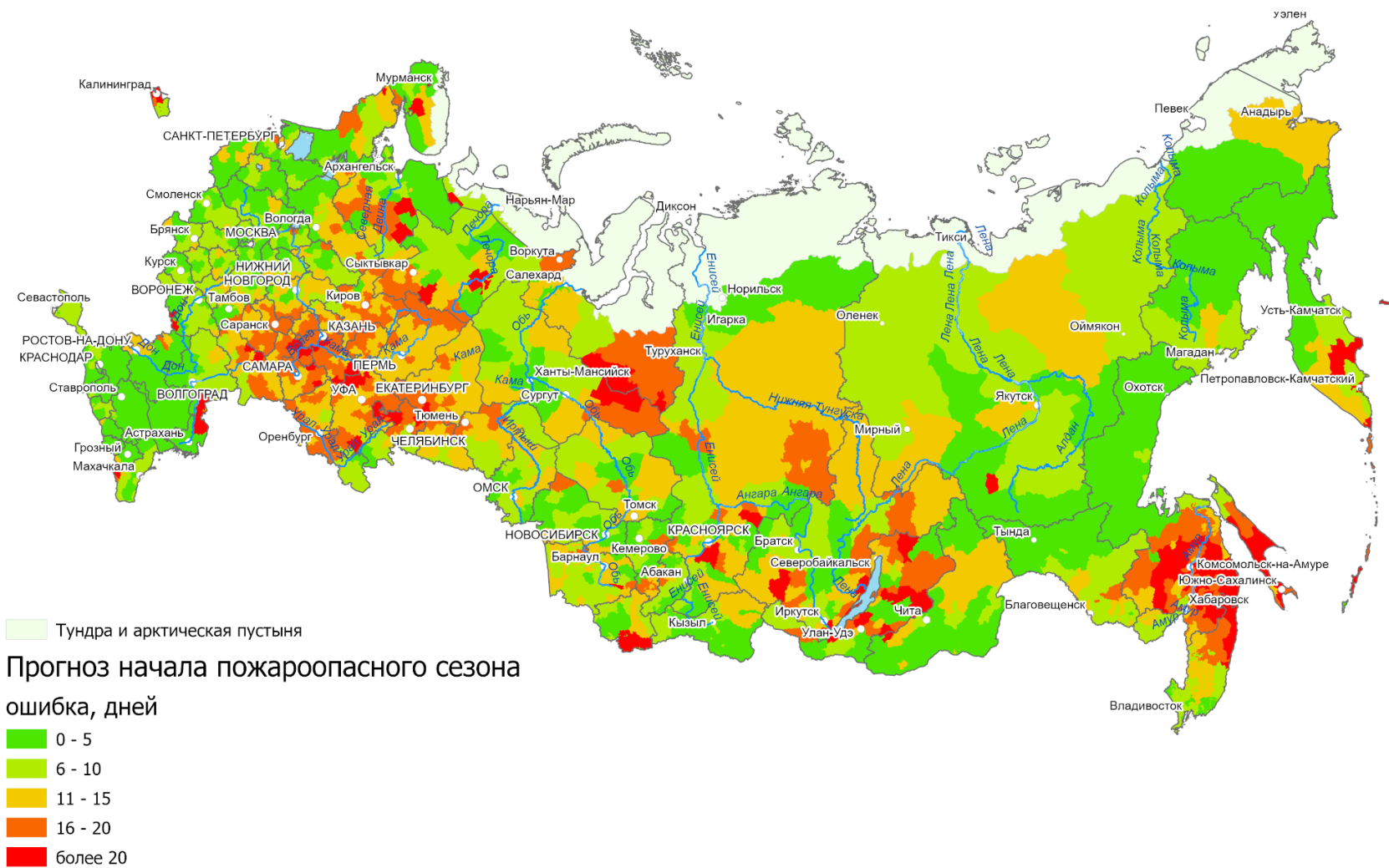


Рисунок В.3 – Абсолютная ошибка прогноза начала пожароопасного сезона 2023 года





Рисунок В.5 – Фактическое завершение пожароопасного сезона 2023 года по метео данным

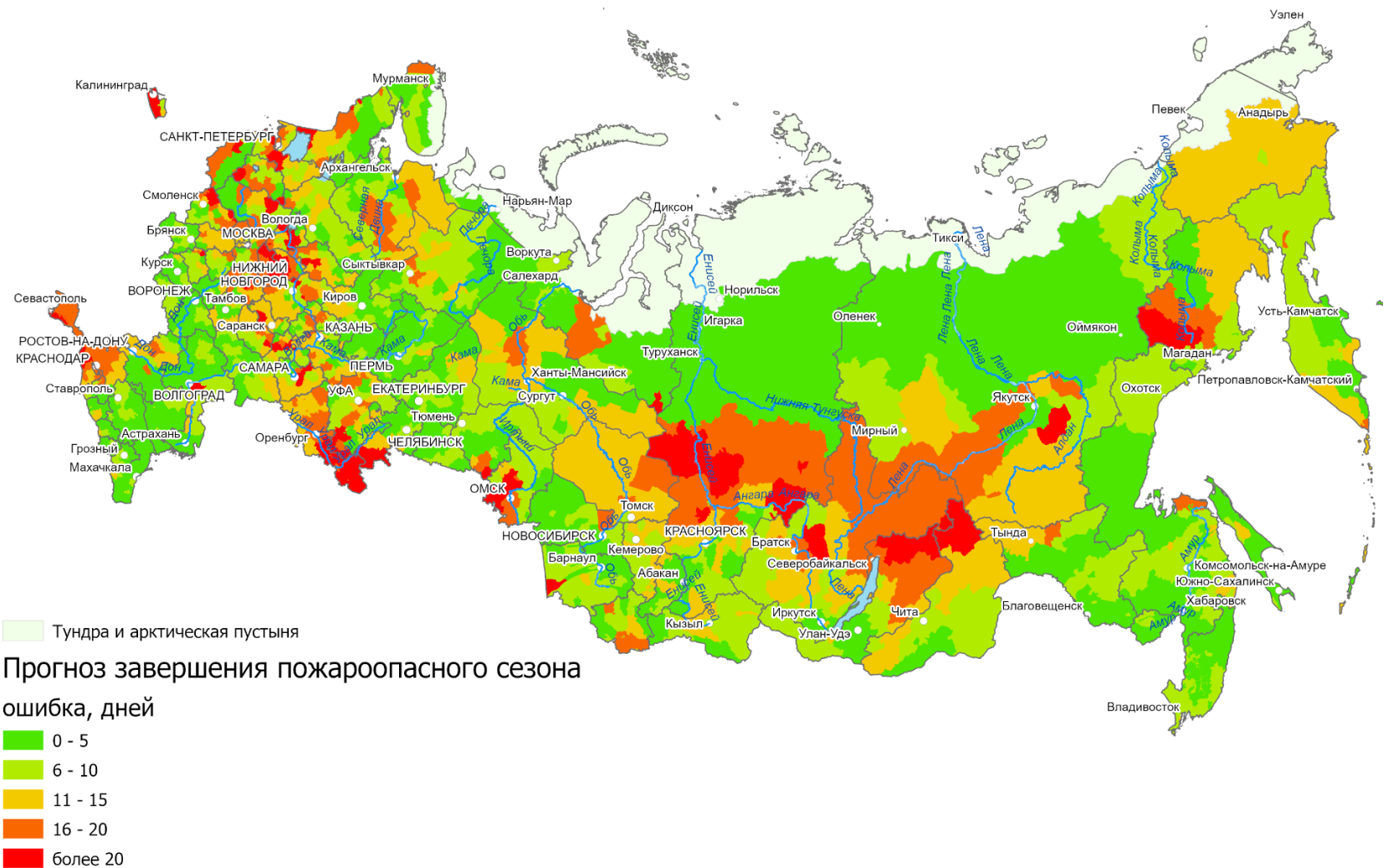


Рисунок В.6 – Абсолютная ошибка прогноза завершения пожароопасного сезона 2023 года



Рисунок В.7 – Прогноз продолжительности пожароопасного сезона 2023 года по метеоданным



Рисунок В.8 – Фактическая продолжительность пожароопасного сезона 2023 года по метео данным





Рисунок В.10 – Прогноз напряженности пожароопасного сезона 2023 года



Рисунок В.11 – Фактическая напряжённость пожароопасного сезона 2023 года

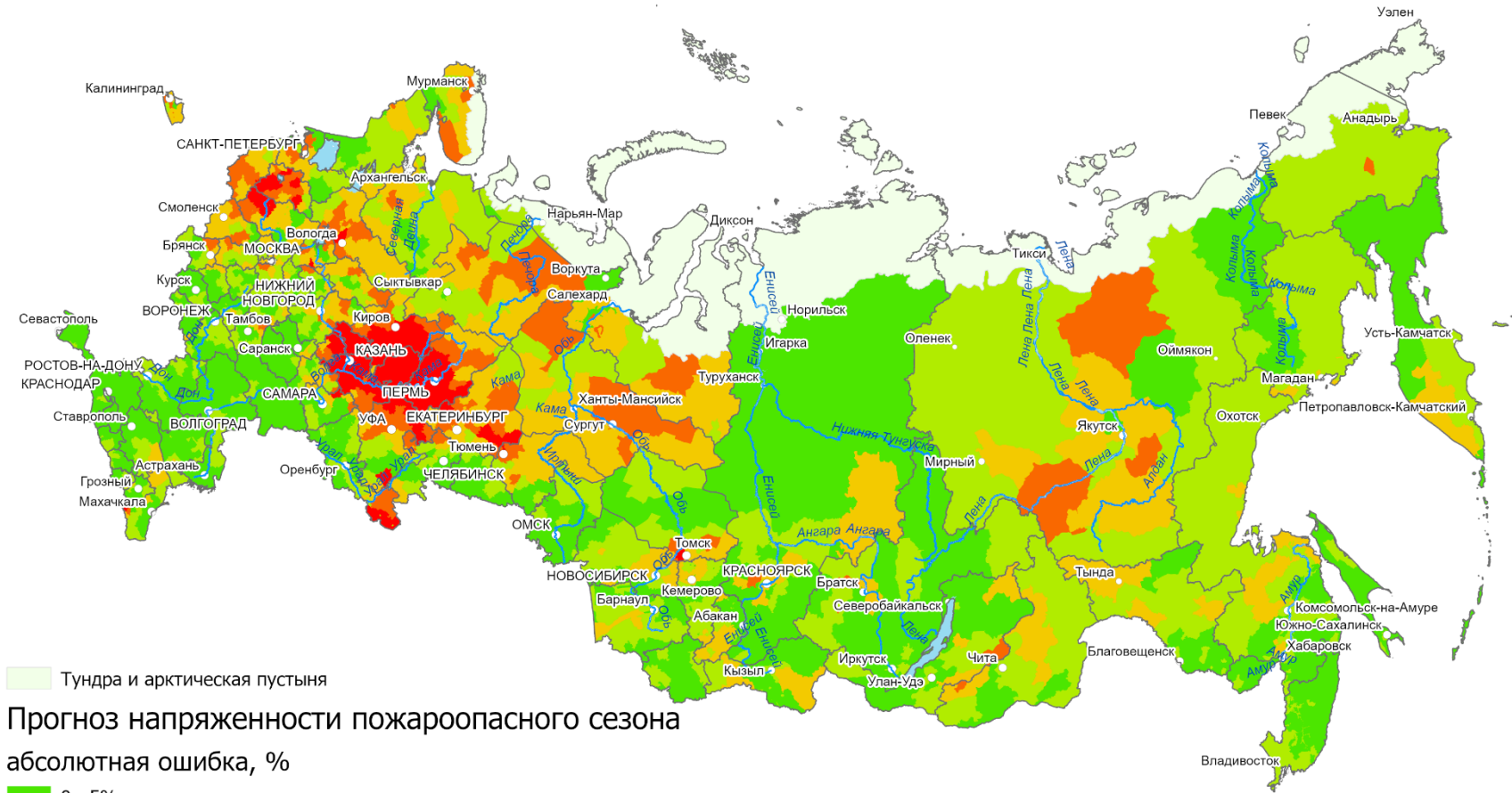


Рисунок В.12 – Абсолютная ошибка прогноза напряженности пожароопасного сезона 2023 года

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

## РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА ОПТИМАЛЬНЫХ ЗОН КОНТРОЛЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ ДЛЯ НЕКОТОРЫХ РЕГИОНОВ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

*Республика Саха (Якутия)*

Обзорная карта средней многолетней горимости лесничеств Республики Саха (Якутия), а также плотность населения по ключевым муниципальным образованиям приведены на рисунке ниже (Рисунок Г.1).

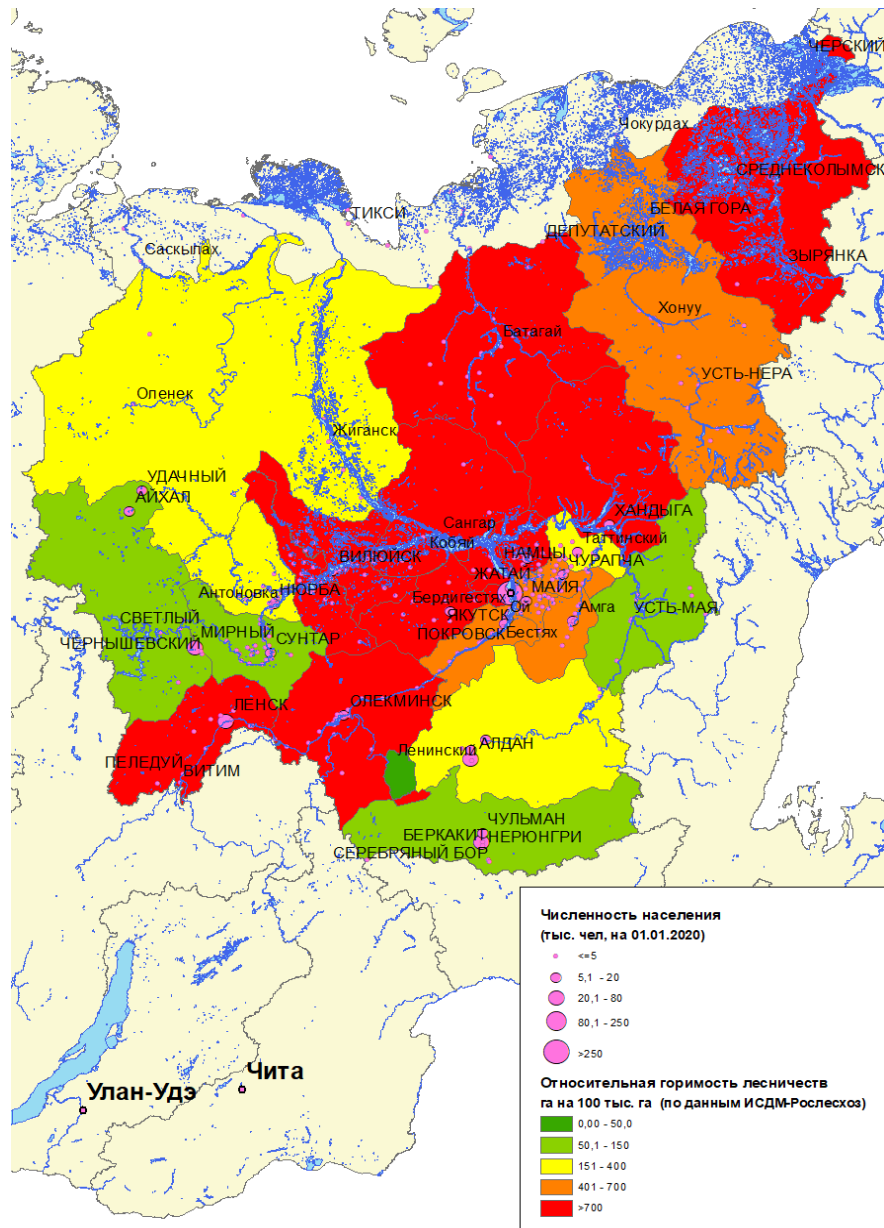
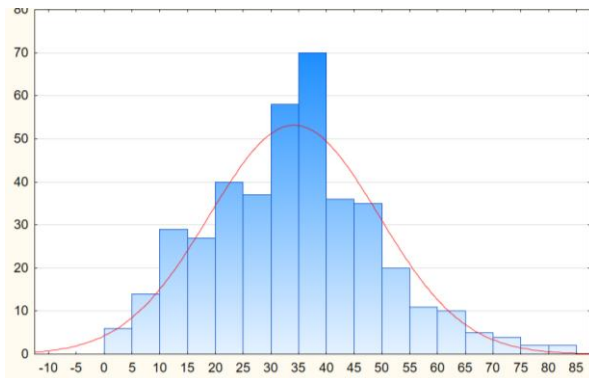
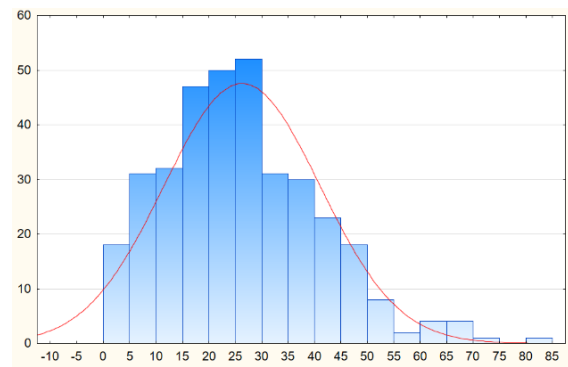


Рисунок Г.1 – Относительная горимость лесничеств и плотность населения

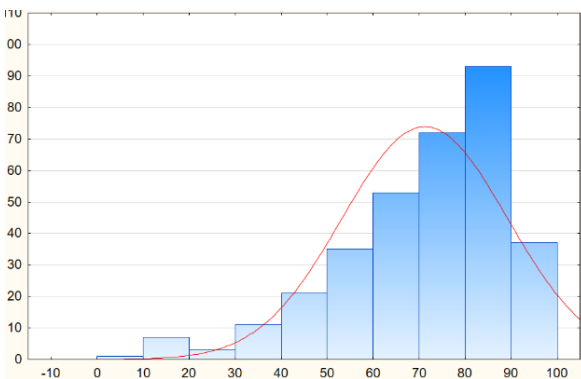
Результат проверки формы распределения исходных данных указан на рисунке Г.2.



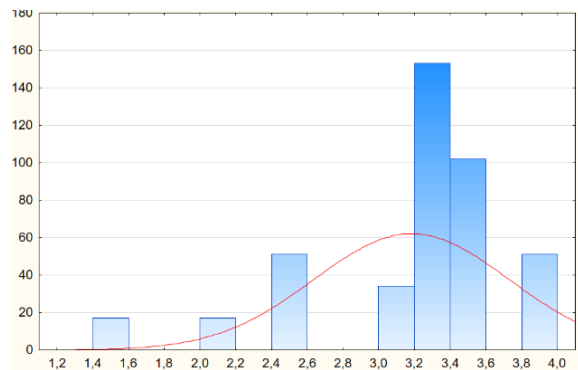
Напряженность пожароопасного сезона по В.Г. Нестерову



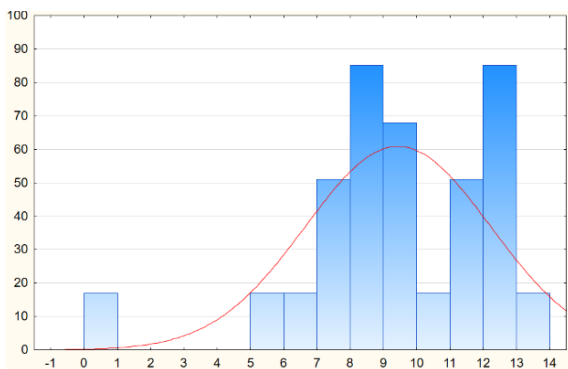
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-1



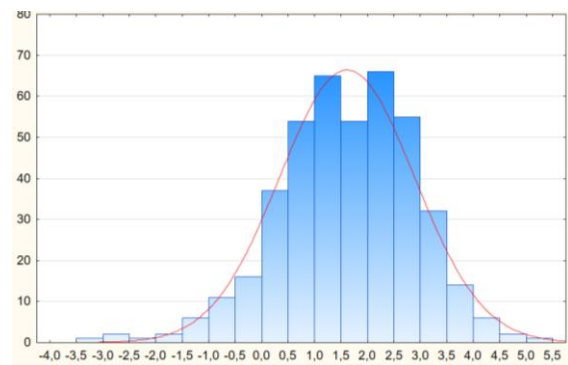
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-2



Класс природной пожарной опасности лесов



Натуральный логарифм плотности населения



Натуральный логарифм частота возникновения лесных пожаров

Рисунок Г.2 – Формы распределения основных показателей

Оценка исходных данных по Республике Саха (Якутия) на соответствие закону нормального распределения приведена в таблице Г.1. Проверка нормальности распределения полученного значения показателя эффективности организации охраны лесов от пожаров приведена на рисунке Г.3. Проверка линейности распределения значений показателей, используемых для построения линейной регрессии, приведен на рисунке Г.4.

Таблица Г.1 – Оценка исходных данных по Республике Саха (Якутия) на соответствие закону нормального распределения

Показатель	Критерий Колмогорова-Смирнова	P-значение
Напряженность пожароопасного сезона по В.Г. Нестерову	0,05	>0,2
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-1	0.07	<0,10
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-2	0.10	<0,01
Класс природной пожарной опасности лесов	0.12	<0,01
Натуральный логарифм плотности населения	0.10	<0,01
Натуральный логарифм частота возникновения лесных пожаров	0.04	>0,20

По результатам анализа можно в качестве допущения сделать вывод, что форма распределений напряженности пожароопасного сезона, рассчитанных по шкале В.Г. Нестерова и ПВ-1, а также логарифм частоты возникновения лесных пожаров близка к нормальной и в дальнейших расчётах может использоваться коэффициент корреляции Пирсона, а также исключение выбросов по правилу 3-сигм. По остальным показателям такого допущения делать нельзя.

В связи с вышесказанным при оценке степени взаимосвязи между различными показателями напряжённости пожароопасного сезона и логарифмом частоты возникновения лесных пожаров используется обычный коэффициент корреляции Пирсона (без исключения влияния плотности населения и КППО), (Таблица Г.2).

Таблица Г.2 – Расчёт корреляции значений напряженности пожароопасного сезона и логарифма частоты возникновения лесных пожаров

Показатель (после исключения выбросов)	Среднее значение	Стандартное отклонение	Корреляция с значением логарифма частоты
--	------------------	------------------------	--

по правилу 3 $\sigma$ )			возникновения лесных пожаров
Н	33,9	15,0	<b>0,48</b>
Н <sub>ПВ-1</sub>	26,4	14,4	<b>0,47</b>
Н <sub>ПВ-2</sub>	72,0	16,7	<b>0,43</b>

В таблице красным цветом отмечены значения, статистически значимые при  $p < 0,05$ .

На основании полученных данных можно сделать вывод, что на территории Республики Саха (Якутия) наиболее адекватным является показатель напряжённости пожароопасного сезона, рассчитанный на основании КПО по методике В.Г. Нестерова.

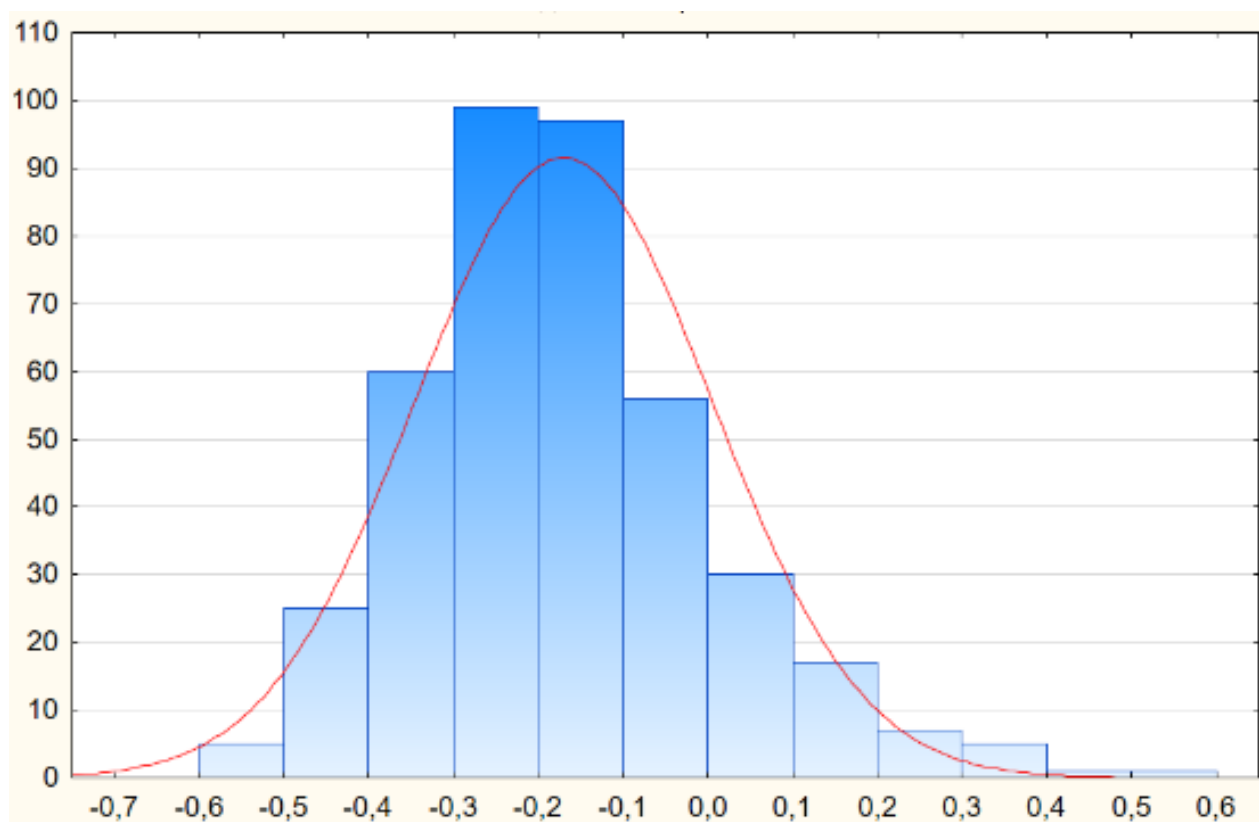


Рисунок Г.3 – Проверка нормальности распределения полученного значения показателя эффективности организации охраны лесов от пожаров

Полученные в ходе расчёта значения показателя эффективности тушения лесных пожаров тоже распределены нормально (критерий Колмогорова-Смирнова = 0,06, при  $p < 0,1$ ).

Статистически значимой взаимосвязи между показателем эффективности организации охраны лесов и основными показателями (доля нерезервных лесов,

КППО, и логарифм плотности населения) не выявлено, поэтому использовать метод нелинейной множественной регрессии некорректно.

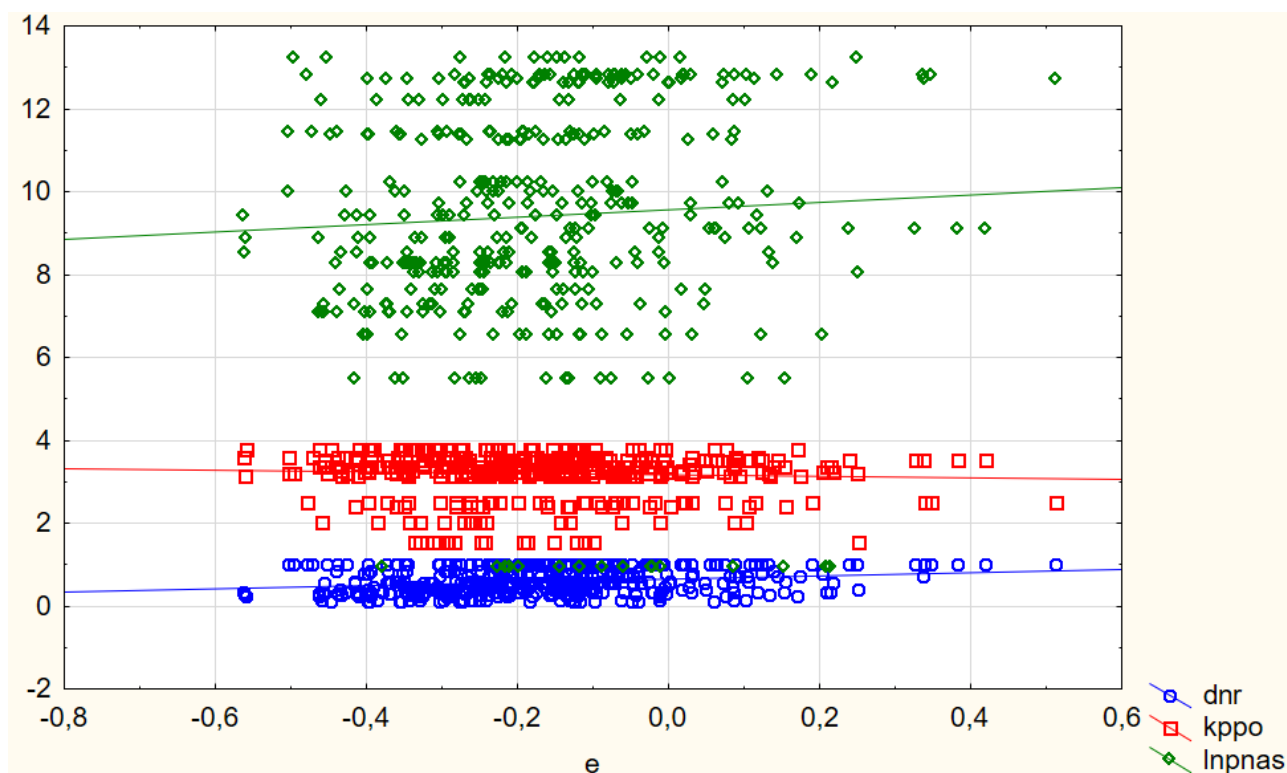


Рисунок Г.4 – Проверка линейности распределения значений показателей, используемых для построения линейной регрессии. На графике  $e$  – показатель эффективности охраны лесов от пожаров,  $kppo$  – класс природной пожарной опасности лесов,  $lnprnas$  – логарифм плотности населения;  $dnr$  – доля не резервных лесов

График зависимости показателя эффективности охраны лесов от пожаров (в данном случае, основанный на методике В.Г. Нестерова) и долей активно охраняемой площади показан на рисунке Г.5. Кружочками указаны значения для отдельных лесничеств в отдельные годы. Сплошной зелёной линией обозначено интерполированное значение взаимосвязи, полученной методом наименьших квадратов. Для наглядности на этом же графике отобразим влияние доли активно охраняемой территории на долю пожаров, которые будут возникать в зоне контроля (красной линией).

Как видно из графика эффективность охраны вблизи точки, соответствующей текущему значению доли активно охраняемой площади 0,15

(площадь зон контроля 217,4 млн га) при увеличении активно охраняемой территории эффективность тушения будет только ухудшаться. Это говорит о плачевном состоянии системы охраны лесов от пожаров. Республика Саха (Якутия) является уникальным дотационным регионом со своей спецификой (в частности, федеральные средства на содержание лесопожарных формирований не выделяются) и тяжелым социально-экономическим положением, что исключает возможности оптимизации в рамках существующих финансовых механизмов.

В соответствии с государственным контрактом с Республикой Саха (Якутия) [284] специалистами Филиала ФБУ ВНИИЛМ "Центр лесной пирологии" (г. Красноярск) были собраны более детальные сведения об условиях организации охраны лесов от пожаров (в том числе географически привязанная поквартальная база данных). В ходе проведенных исследований был представлен поэтапный реалистичный план увеличения активно охраняемой площади лесного фонда (до 0.18) с финансовым обоснованием (в том числе в части распределения, установленной приказом Рослесхоза [285] площади в виде поквартального лесопожарного зонирования).

Вместе с тем, если рассматривать существующую финансово-политическую ситуацию, то рекомендуется оставить площади зон контроля лесных пожаров в Республике Саха (Якутия) оставить на существующем уровне.

#### *6. Республика Бурятия*

Обзорная карта средней многолетней горимости лесничеств Республики Бурятия, а также плотность населения по ключевым муниципальным образованиям приведены на рисунке ниже (рисунок Г.6). На этой же карте нанесены границы зон контроля лесных пожаров по состоянию на 2010 и 2021 годы.

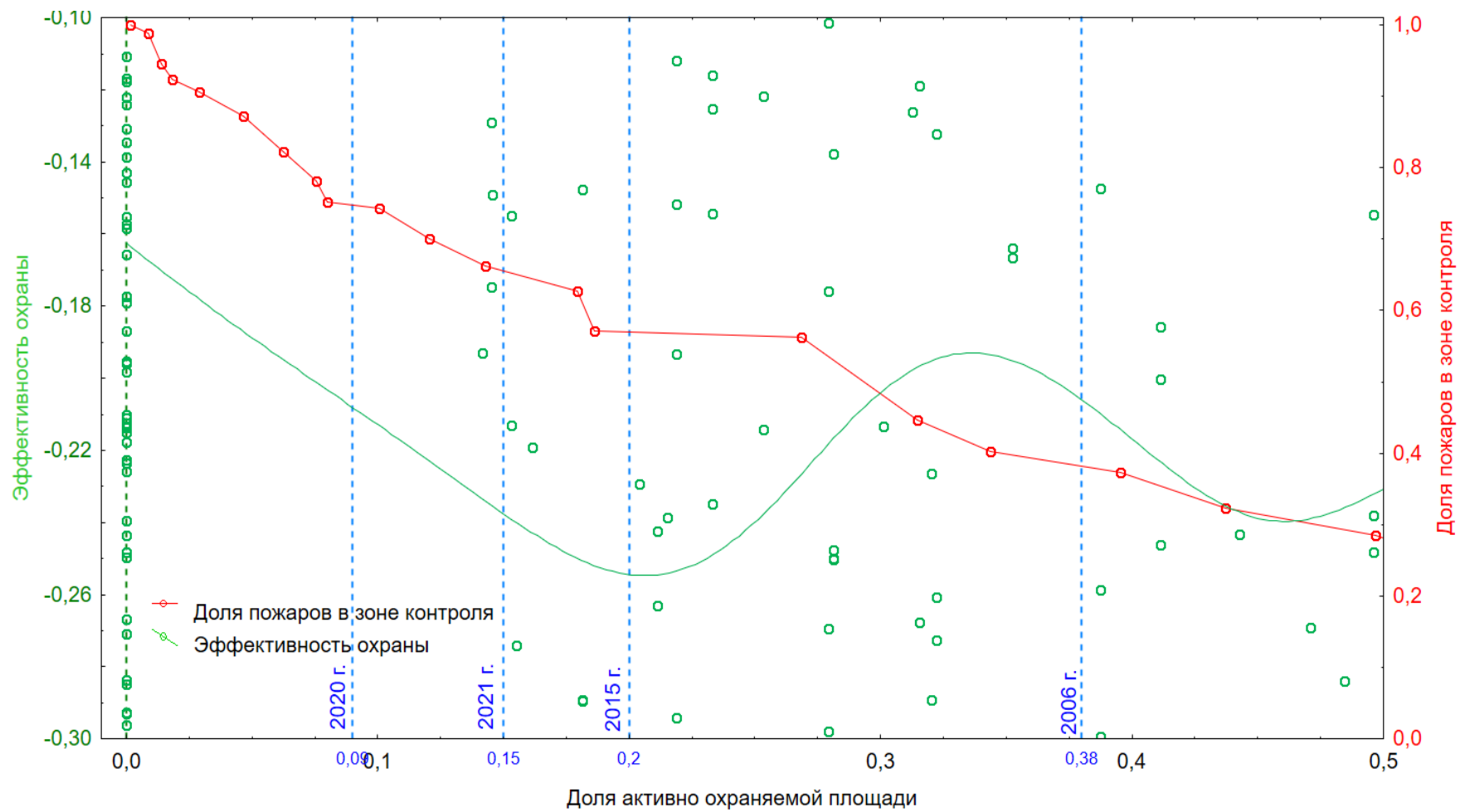


Рисунок Г.5 – Влияние доли активно охраняемой площади на показатель эффективности тушения

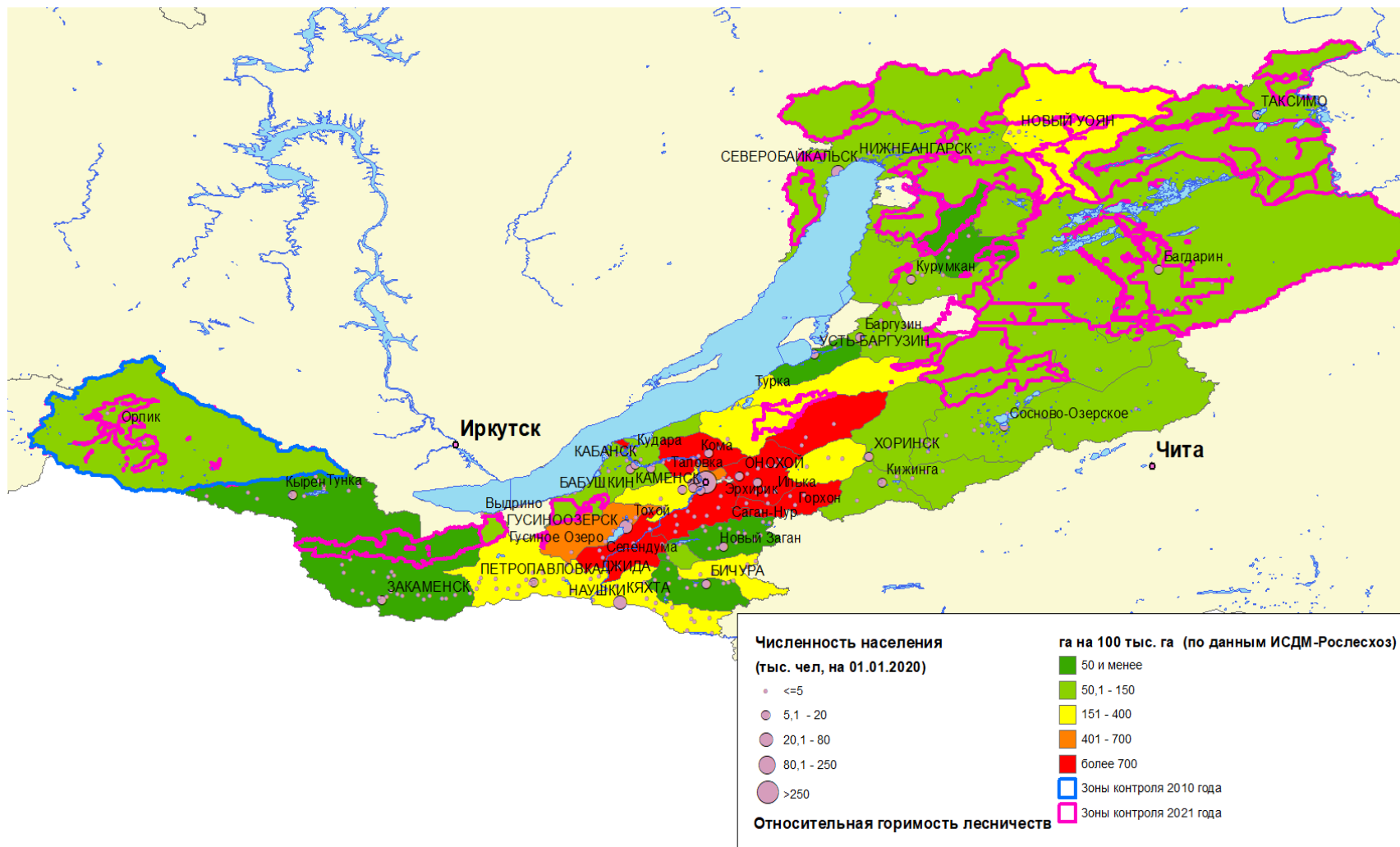
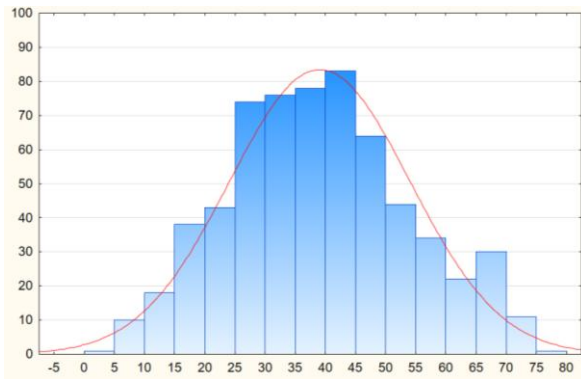
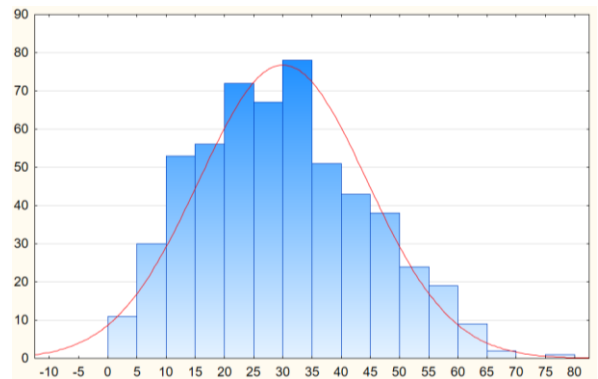


Рисунок Г.6 – Относительная горимость лесничеств, плотность населения и границы зон контроля лесных пожаров Республики Бурятия

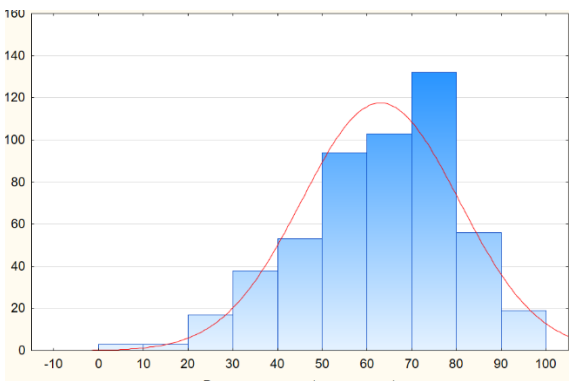
Результат проверки формы распределения исходных данных указан на рисунке Г.7.



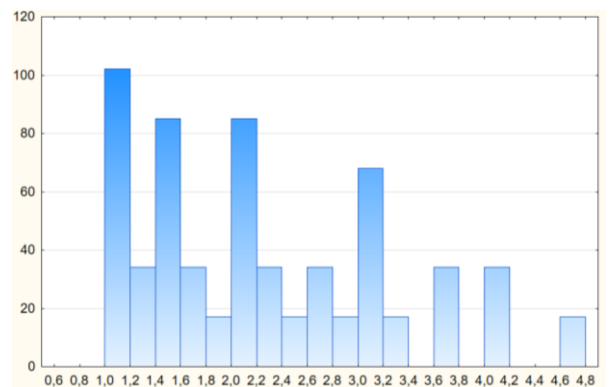
Напряженность пожароопасного сезона по В.Г. Нестерову



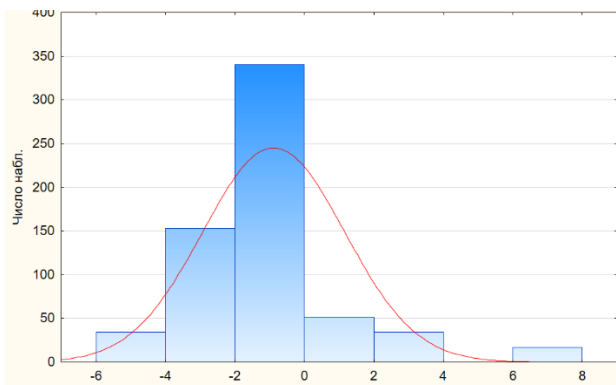
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-1



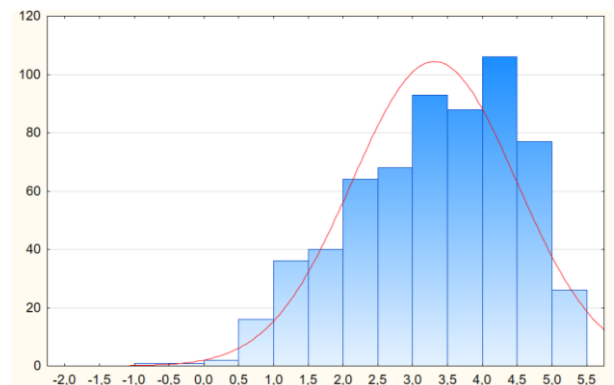
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-2



Класс природной пожарной опасности лесов



Натуральный логарифм плотности населения



Натуральный логарифм частота возникновения лесных пожаров

Рисунок Г.7 – Формы распределения основных показателей

Оценка исходных данных по Республике Бурятия на соответствие закону нормального распределения приведена в таблице Г.3.

Таблица Г.3 – Оценка исходных данных по Республике Бурятия на соответствие закону нормального распределения

Показатель	Критерий Колмогорова-Смирнова	P-значение
Напряженность пожароопасного сезона по В.Г. Нестерову	0,03	>0,2
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-1	0.05	<0,15
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-2	0.06	<0,05
Класс природной пожарной опасности лесов	0.12	<0,01
Натуральный логарифм плотности населения	0.17	<0,01
Натуральный логарифм частота возникновения лесных пожаров	0.07	<0,01

По результатам анализа можно в качестве допущения сделать вывод, что форма распределения указанных показателей (за исключением класса природной пожарной опасности лесов – КППО и логарифма плотности населения) близка к нормальной и в дальнейших расчётах может использоваться коэффициент корреляции Пирсона, а также исключение выбросов по правилу 3-сигм.

В связи с вышесказанным при оценке степени взаимосвязи между различными показателями напряжённости пожароопасного сезона и логарифмом частоты возникновения лесных пожаров используется обычный коэффициент корреляции Пирсона (без исключения влияния плотности населения и КППО) (таблица Г.4).

Таблица Г.4 – Расчёт корреляции значений напряженности пожароопасного сезона и логарифма частоты возникновения лесных пожаров

Показатель (после исключения выбросов по правилу 3 $\sigma$ )	Среднее значение	Стандартное отклонение	Корреляция с значением логарифма частоты возникновения лесных пожаров
Н	36,02	12,99	<b>0,18</b>
Н <sub>ПВ-1</sub>	29,73	13,82	0,08
Н <sub>ПВ-2</sub>	62,88	16,72	<b>0,24</b>

Красным цветом в таблице указаны статистически значимые значения для уровня  $p\text{-value} < 0,05$ .

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что на территории Республики Бурятия наиболее адекватный показатель напряженности пожароопасного сезона является показатель, рассчитанный на основании КПО по методике ПВ2.

Полученные в ходе расчёта значения показателя эффективности тушения лесных пожаров тоже распределены нормально (критерий Колмогорова-Смирнова  $= 0,04$ , при  $p > 0,2$ , рисунок Г.8).

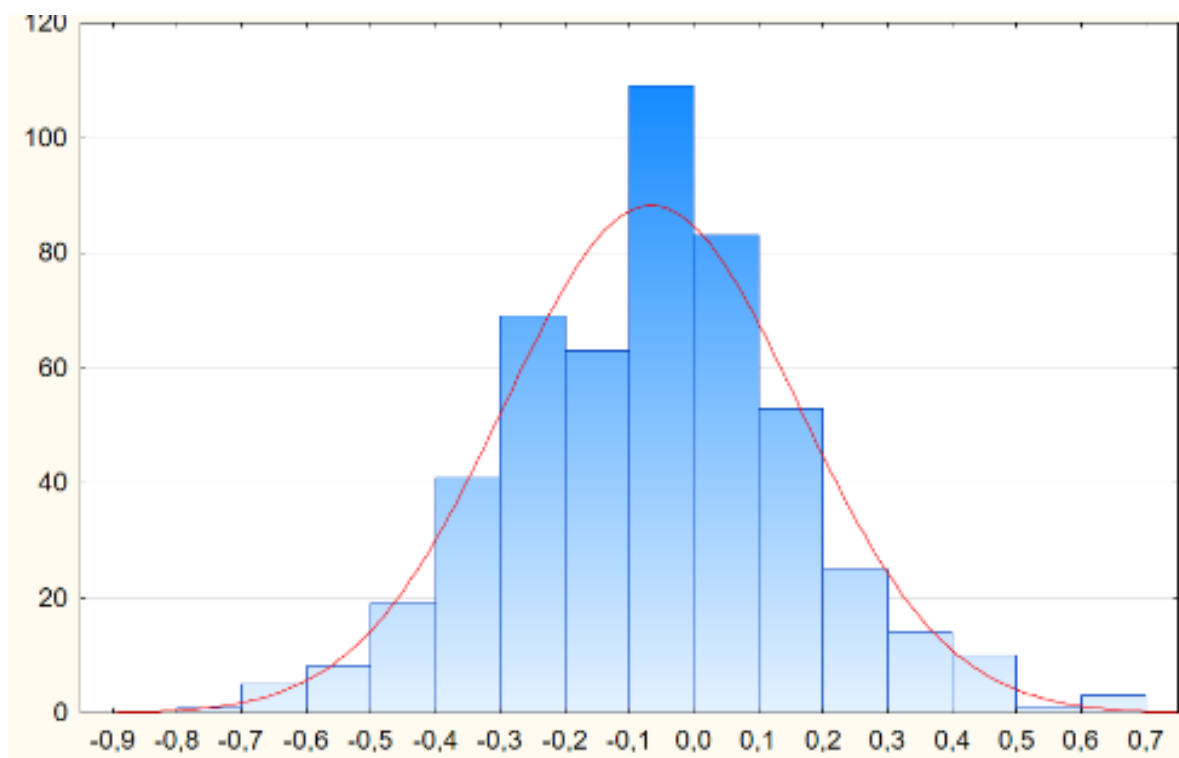


Рисунок Г.8 – Проверка нормальности распределения полученного значения показателя эффективности организации охраны лесов от пожаров

Взаимосвязь между показателем эффективности организации охраны лесов от пожаров и логарифмом плотности населения является значительной (коэффициент наклона прямой 0,26) и статистически значимой ( $p\text{-value} < 0,05$ ). При этом влияние КПО незначительное и не является статистически значимым. В соответствии с теоремой Гаусса-Маркова отклонение от нормальности

распределения не мешает использовать метод регрессии (рисунок Г.9). Кроме того, последующие расчёты показали, что значение критерия Фишера (29,4) значительно больше нуля – значит применение этого метода является более оправданным, чем простое усреднение значений.

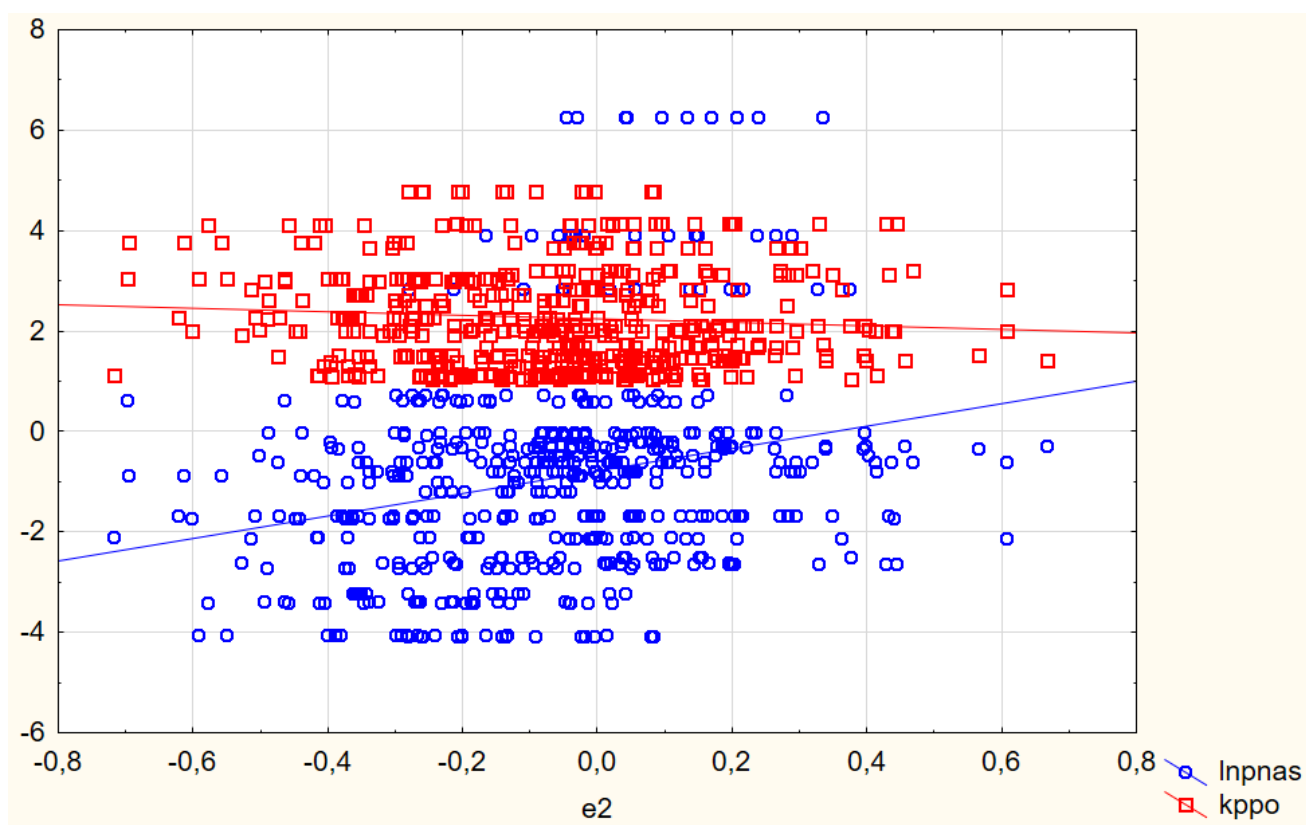


Рисунок Г.9 – Проверка линейности распределения значений показателей, используемых для построения линейной регрессии. На графике  $e_2$  – показатель эффективности охраны лесов от пожаров,  $крро$  – класс природной пожарной опасности лесов,  $lnрnas$  – логарифм плотности населения

Таким образом, для построения математической модели показателя эффективности охраны будем использовать только логарифм плотности населения.

Для расчёта использовалась выборка из 629 записей (по лесничествам за 2007 – 2020 годы), полученный скорректированный коэффициент детерминации  $R^2=0.043$ ,  $p$ -значение  $<0,001$ , стандартная ошибка оценки 0.20 (таблица Г.5).

Таблица Г.5 – Итоги расчёта множественной регрессии

Фактор	БЕТА	Стандартная ошибка	В	Стандартная ошибка	t(1204)	Р-значение
Свободный член			-0,037593	0,01	-3,96	0,000083
Логарифм плотности населения, $\ln(pnas)$	0,21	0,04	0,025918	0,005	5,42	0,000000

В таблице красным цветом отмечены значения, статистически значимые при  $p < 0,05$ .

Скорректированное значение показателя эффективности работы лесопожарных служб определяется по формуле ( 22 ):

$$e2' = -0,037593 + 0,025918 \times \ln(pnas) \quad ( 22 )$$

где  $e2'$  – скорректированный показатель эффективности лесопожарных служб (на основе методики ПВ-2)  
 $pnas$  – плотность населения в лесничестве.

Для дополнительной оценки адекватности результатов множественной регрессии проведём анализ остатков (рисунок Г.10).

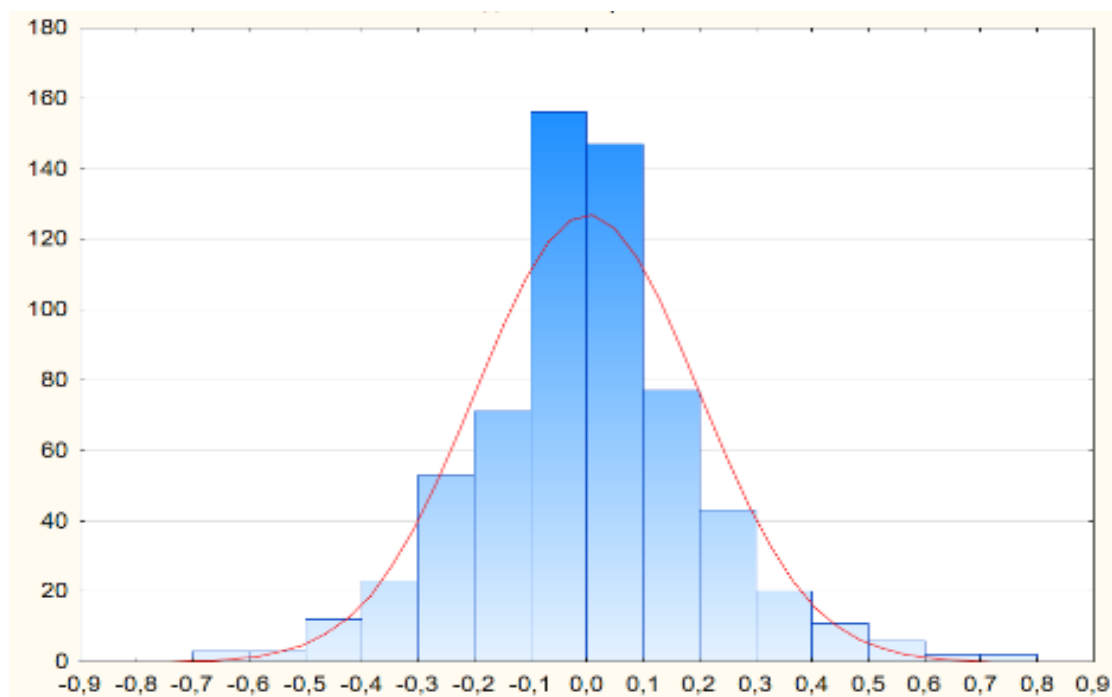


Рисунок Г.10 – Гистограмма распределения остатков

Как видно из графиков, остатки распределены по закону, близкому к нормальному, что подтверждает адекватность построения модели линейной регрессии (рисунок Г.11).

Рассчитав указанные значения для каждого лесничества, можно построить график взаимосвязи между эффективностью тушения и долей активно охраняемой площади (рисунок Г.12). Кругами указаны значения для отдельных лесничеств в отдельные годы. Сплошной зелёной линией обозначено интерполированное значение взаимосвязи, полученной методом наименьших квадратов. Для наглядности на этом же графике отобразим влияние доли активно охраняемой территории на долю пожаров, которые будут возникать в зоне контроля (красной линией).

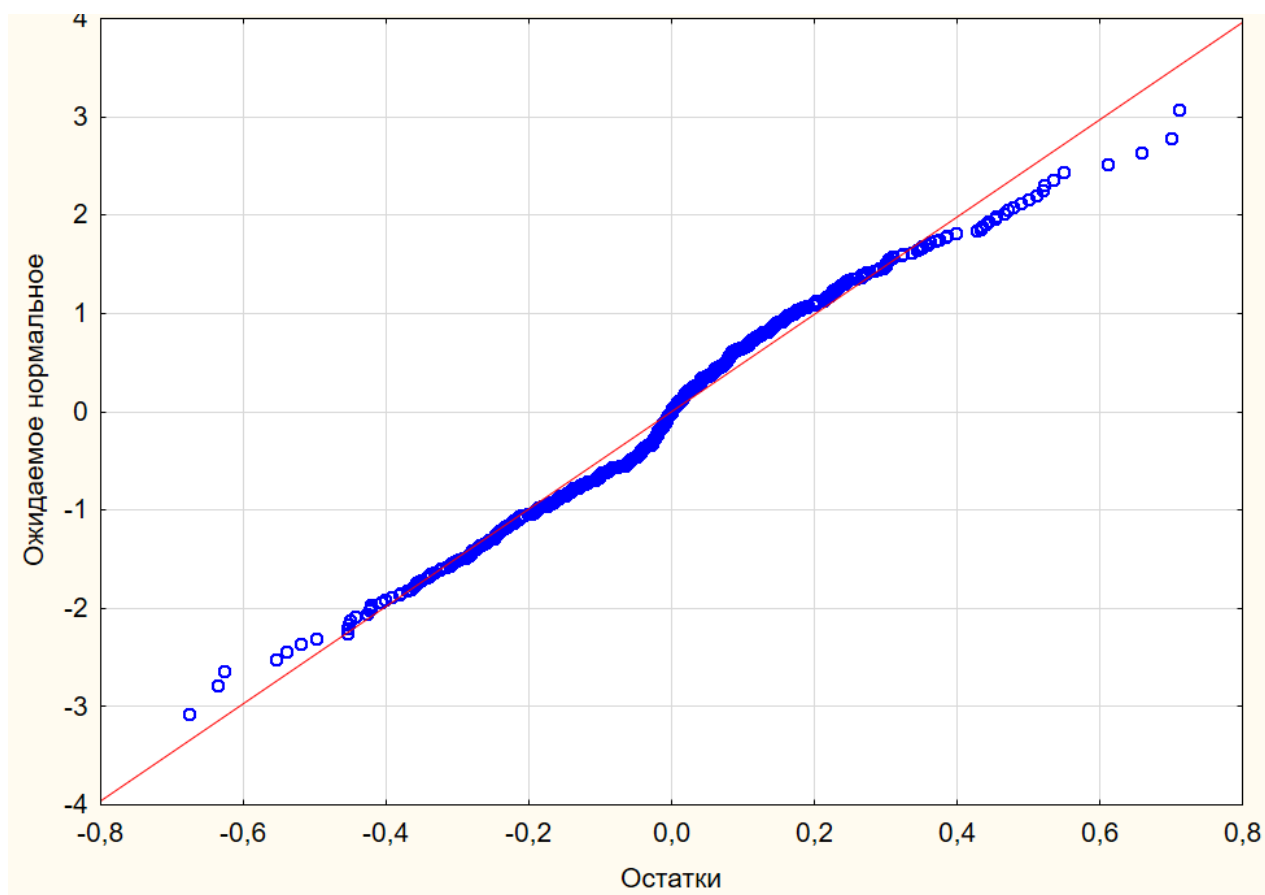


Рисунок Г.11 – Нормальный вероятностный график остатков

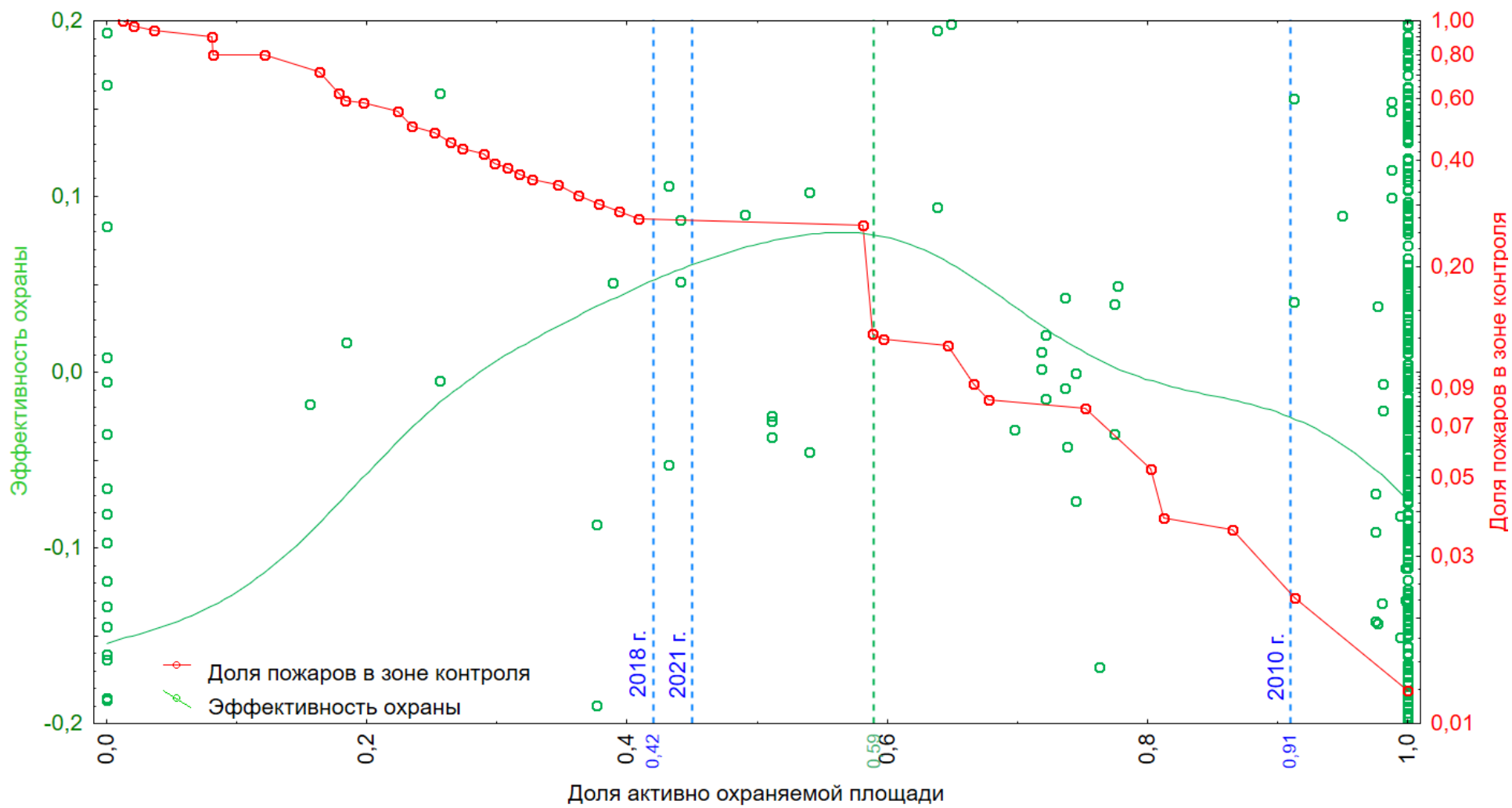


Рисунок Г.12 – Влияние доли активно охраняемой площади на показатель эффективности тушения

Как видно из графика оптимальным значением (в рамках существующего объёма выделяемых ресурсов) является 0,59. Для расчёта рекомендуемой площади зон контроля воспользуемся формулой ( 23 ) .

$$S_{зк} = S_{лф} \times (1 - dao) = 27010,6 \times (1 - 0,59) \approx \quad ( 23 ) \\ \approx 11,1 \text{ млн га} \pm 1.1 \text{ млн га}$$

где  $S_{зк}$  – площадь зон контроля лесных пожаров;  
 $S_{лф}$  – площадь лесного фонда на территории Республики Бурятия;  
 $dao$  – доля активно охраняемой площади лесов;

Оптимальное значение площади зон контроля лесных пожаров на территории Республики Бурятия составляет 11,1 млн га  $\pm$  1.1 млн га. В настоящее время указанная площадь составляет 14,8 млн га. С учётом указанных выше расчётов рекомендуется сократить это значение на 18 %  $\div$  25 %.

### *7. Красноярский край*

Обзорная карта средней многолетней горимости лесничеств Красноярского края, а также плотность населения по ключевым муниципальным образованиям приведены на рисунке Г.13. На этой же карте нанесены границы зон контроля лесных пожаров по состоянию на 2016 и 2021 годы.

Результат проверки формы распределения исходных данных указан в таблице Г.6. Учитывая, что форма распределения плотности населения, частоты возникновения лесных пожаров и относительной горимости близка к логнормальной (рисунок Г.14), для дальнейших исследований данные были логарифмированы.

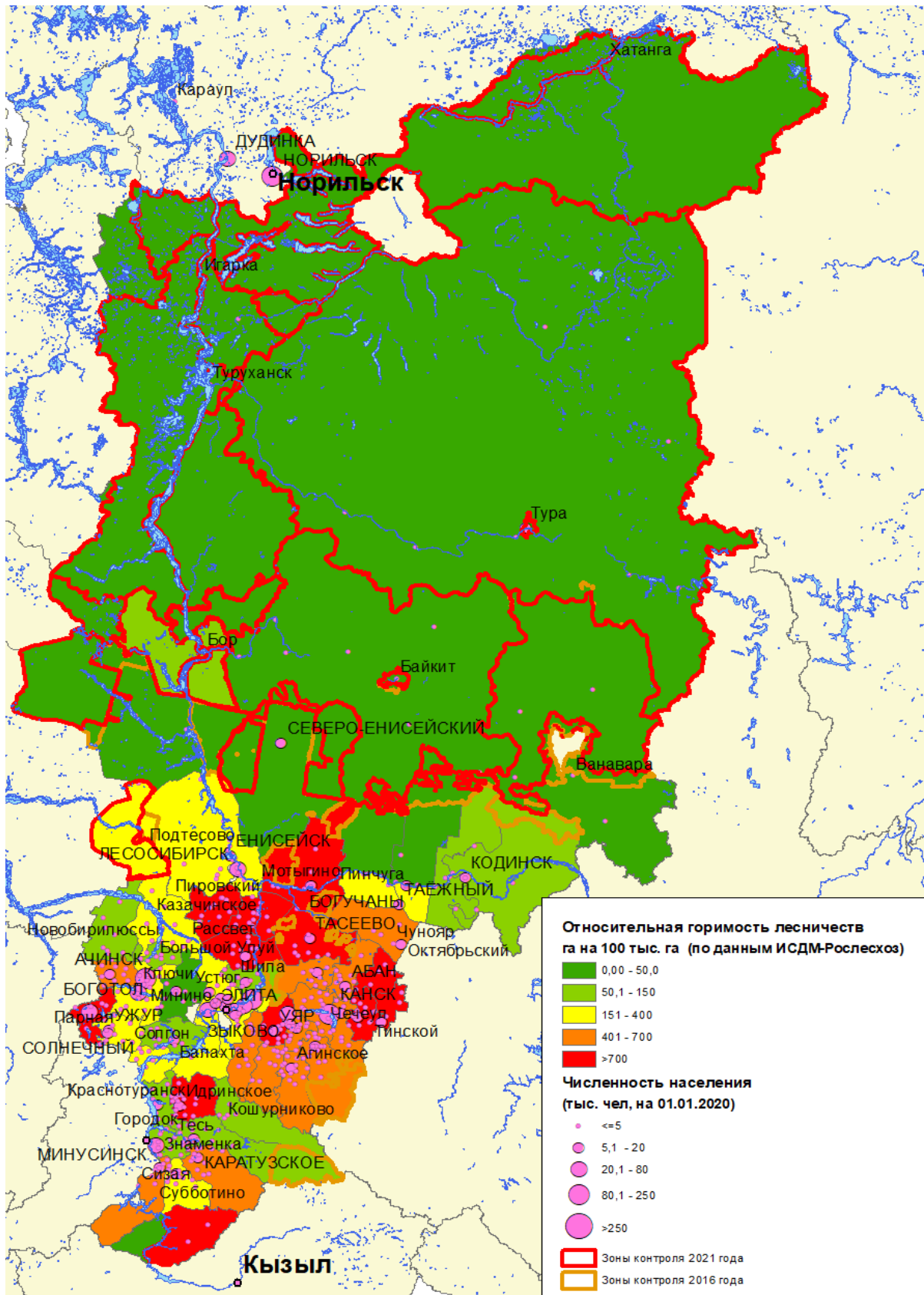
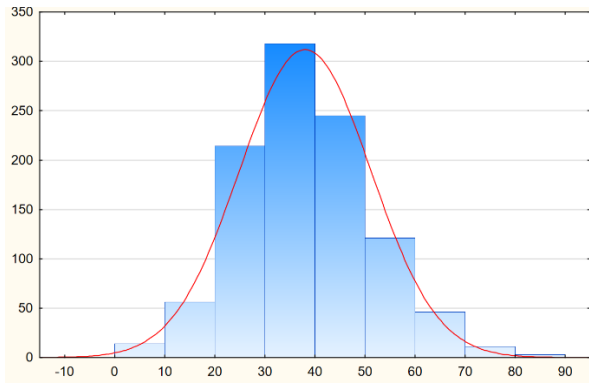
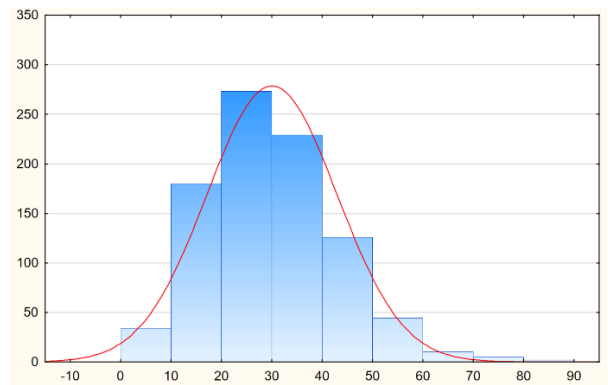


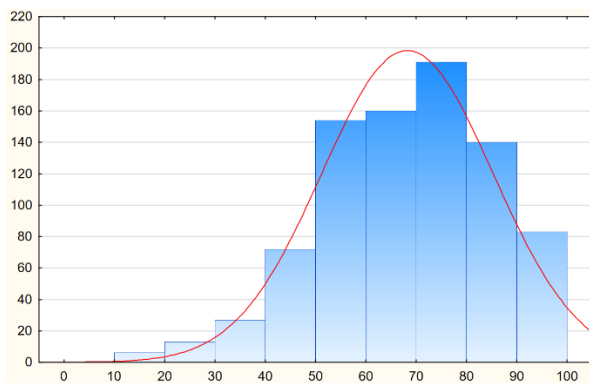
Рисунок Г.13 – Относительная горимость лесничеств, плотность населения и границы зон контроля лесных пожаров Красноярского края



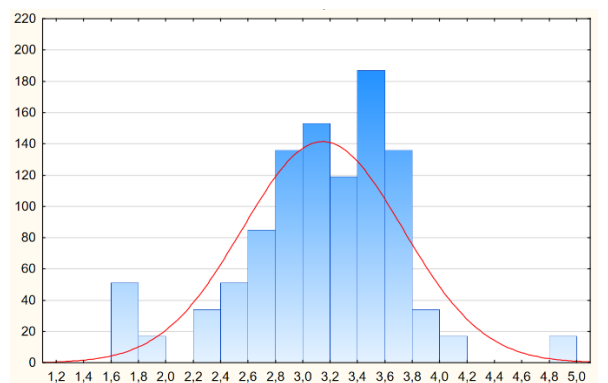
Напряженность пожароопасного сезона по В.Г. Нестерову



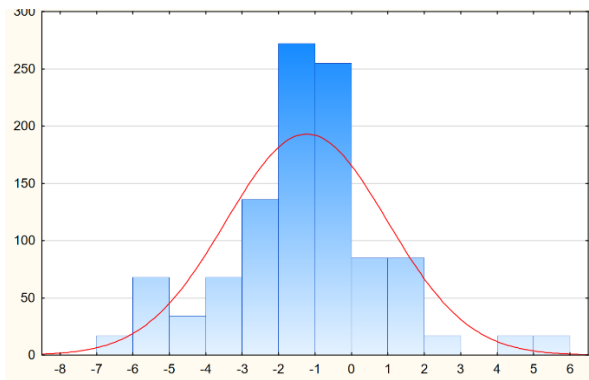
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-1



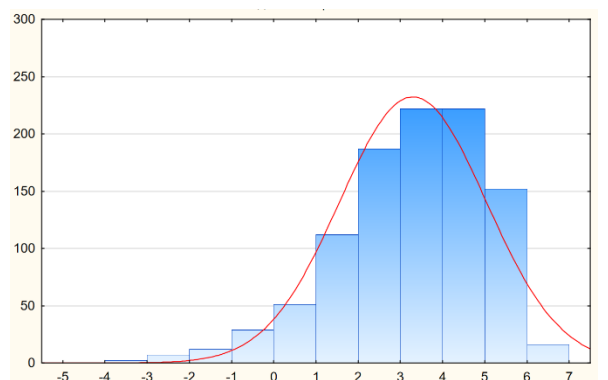
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-2



Класс природной пожарной опасности лесов



Натуральный логарифм плотности населения



Натуральный логарифм частота возникновения лесных пожаров

Рисунок Г.14 – Формы распределения основных показателей

По результатам анализа можно в качестве допущения сделать вывод, что форма распределения значений близка к нормальной и в дальнейших расчётах

может использоваться коэффициент корреляции Пирсона, а также исключение выбросов по правилу 3-сигм (таблица Г.6).

Таблица Г.6 – Оценка исходных данных на соответствие нормальному распределению

Показатель	Критерий Колмогорова-Смирнова	Р-значение
Напряженность пожароопасного сезона по В.Г. Нестерову	0,04	<0,1
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-1	0,06	<0,1
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-2	0,04	<0,2
Класс природной пожарной опасности лесов	0,10	<0,1
Натуральный логарифм плотности населения	0,12	<0,1
Натуральный логарифм частота возникновения лесных пожаров	0,07	<0,1

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что на территории Красноярского края наиболее адекватный показатель напряженности пожароопасного сезона является показатель, рассчитанный на основании КПО по методике ПВ-1 (далее – на основе ПВ-1).

Полученные в ходе расчёта значения показателя эффективности тушения лесных пожаров тоже распределены нормально (критерий Колмогорова-Смирнова =0,04, при  $p > 0,2$ , таблица Г.7, рисунки Г.15 и Г.16).

Таблица Г.7 – Расчёт частной корреляции значений напряженности пожароопасного сезона и логарифма частоты возникновения лесных пожаров при управляемых значениях логарифма плотности населения и КПО

Показатель	Среднее значение	Стандартное отклонение	Корреляция с значением логарифма частоты возникновения лесных пожаров
Н	38,11	12,72	0,15
Н <sub>ПВ-1</sub>	29,80	12,16	0,21
Н <sub>ПВ-2</sub>	68,72	16,58	0,14

В таблице красным цветом отмечены значения, статистически значимые при  $p < 0,05$ .

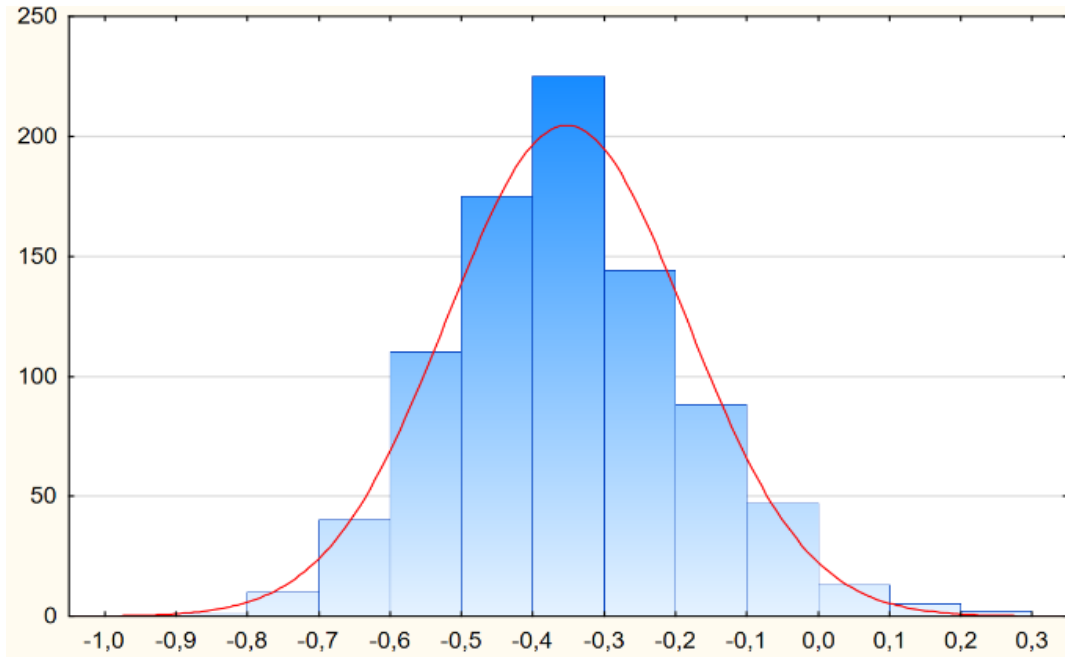


Рисунок Г.15 – Проверка нормальности распределения полученного значения показателя эффективности организации охраны лесов от пожаров

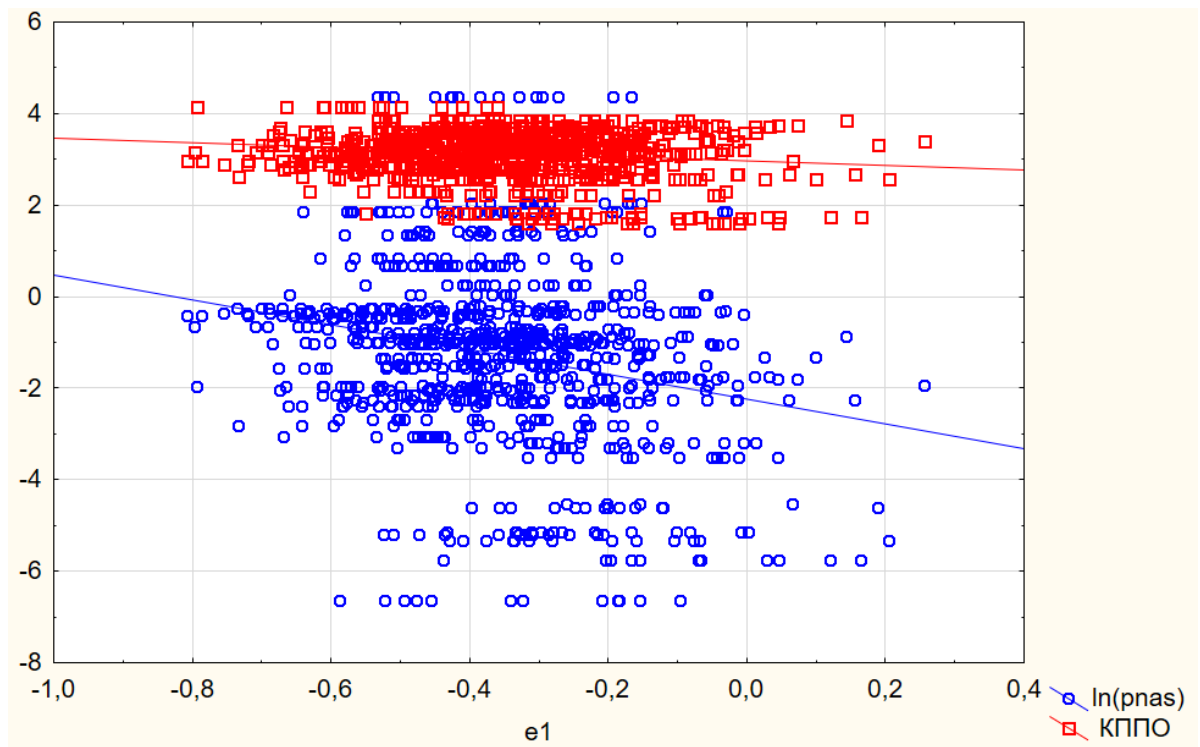


Рисунок Г.16 – Проверка линейности распределения значений показателей, используемых для построения линейной регрессии

Взаимосвязь между этим показателем и логарифмом плотности населения, а также классом природной пожарной опасности лесов не сильно выражена, но статистически значимой ( $p$  критерий  $< 0.05$ ), что даёт основание использовать метод множественной регрессии. Последующие расчёты показали, что значение критерия Фишера (28.56) больше нуля – значит применение этого метода является более оправданным, чем простое усреднение значение.

Для расчёта использовалась выборка их 1207 записей (по лесничествам за 2007 – 2020 годы), полученный скорректированный коэффициент детерминации  $R^2=0.04$ ,  $p$ -значение  $7,37 \times 10^{-13}$ , стандартная ошибка оценки 0.14 (таблица Г.8).

Таблица Г.8 – Итоги расчёта множественной регрессии

Фактор	БЕТА	Стандартная ошибка	В	Стандартная ошибка	t(1204)	P-значение
Свободный член			<b>-0,305090</b>	0,03	-10,88	0,000
КППО	-0,07	0,03	<b>-0,020811</b>	0,01	-2,44	0,015
Логарифм плотности населения, $\ln(pnas)$	-0,18	0,03	<b>-0,013043</b>	0,00	-5,83	0,000

В таблице красным цветом отмечены значения, статистически значимые при  $p < 0,05$ .

Скорректированное значение показателя эффективности работы лесопожарных служб определяется по формуле ( 24 ):

$$e1' = -0,305090 - 0,020811 \times \ln(pnas) - 0,013043 \times \text{КППО} \quad ( 24 )$$

где  $e1'$  – скорректированный показатель эффективности лесопожарных служб,  
 $pnas$  – плотность населения в лесничестве;  
 КППО – средневзвешенный (по площади) класс природной пожарной опасности лесов в лесничестве;

Для дополнительной оценки адекватности результатов множественной регрессии проведём анализ остатков (рисунок Г.17 и Г.18).

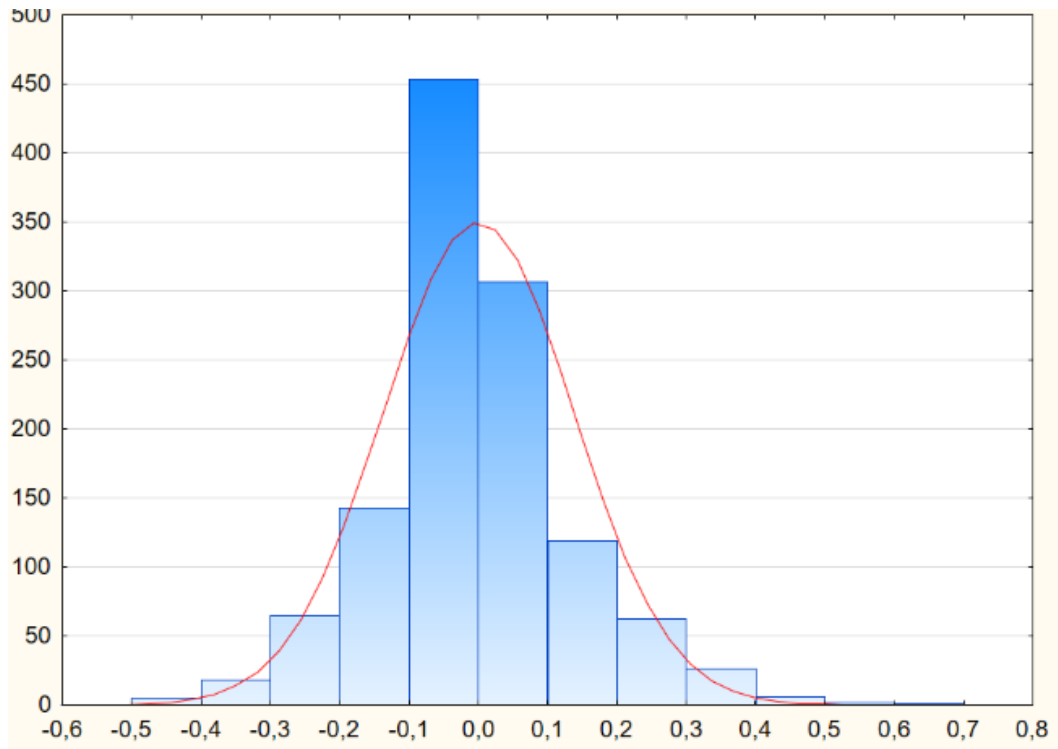


Рисунок Г.17 – Гистограмма распределения остатков

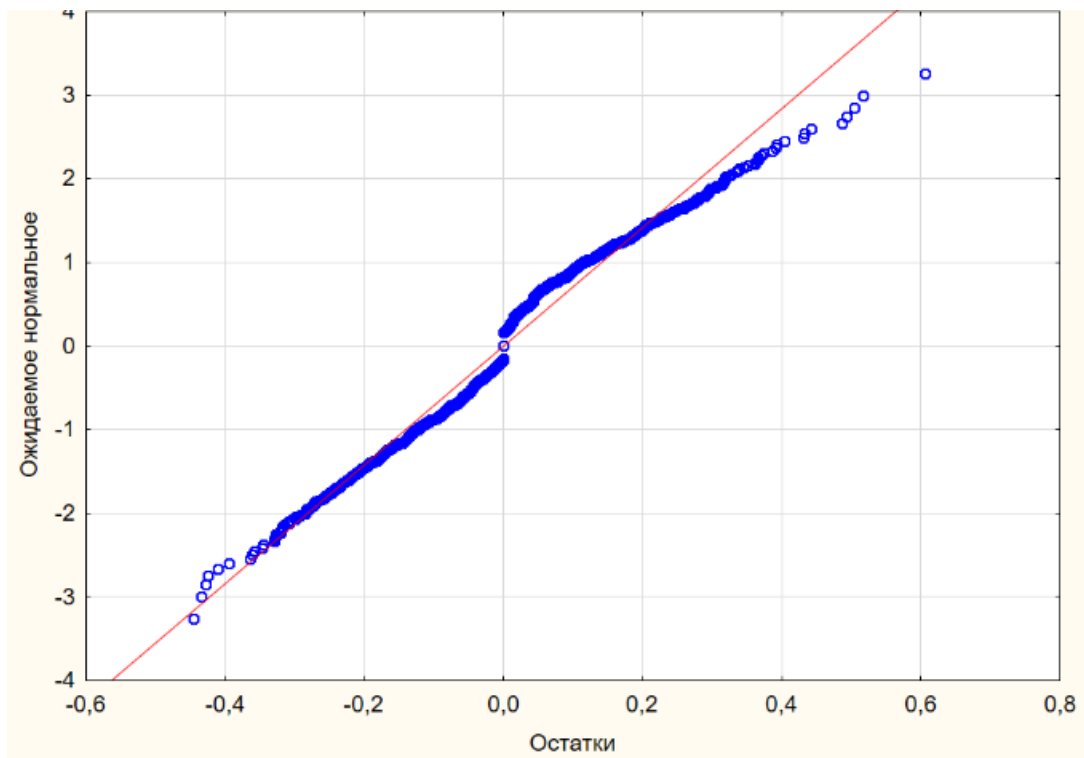


Рисунок Г.18 – Нормальный вероятностный график остатков

Как видно из графиков, остатки распределены по закону распределения, близкому к нормальному, что подтверждает адекватность построения модели множественной линейной регрессии.

Рассчитав указанные значения для каждого лесничества, можно построить график взаимосвязи между эффективностью тушения и долей активно охраняемой площади (рисунок Г.19). Зелёной линией показаны значения, интерполированные методом наименьших квадратов. Для наглядности на этом же графике отобразим влияние доли активно охраняемой территории на долю пожаров, которые будут возникать в зоне контроля (красной линией).

Как видно из графика оптимальным значением (в рамках существующего объёма выделяемых ресурсов) является 0,24.

$$S_{зк} = S_{лф} \times (1 - dao) = 158742,9 \times 0,76 \approx 120,6 \text{ млн га} \quad (25)$$

где  $S_{зк}$  – площадь зон контроля лесных пожаров;  
 $S_{лф}$  – площадь лесного фонда на территории Красноярского края;  
 $dao$  – доля активно охраняемой площади лесов;

Таким образом, оптимальная площадь зон контроля лесных пожаров в Красноярском крае составляет 120,6 млн га  $\pm$ 12 млн га.

В настоящее время площадь зон контроля на территории Красноярского края составляет 121,0 млн га. Таким образом изменения не требуются.

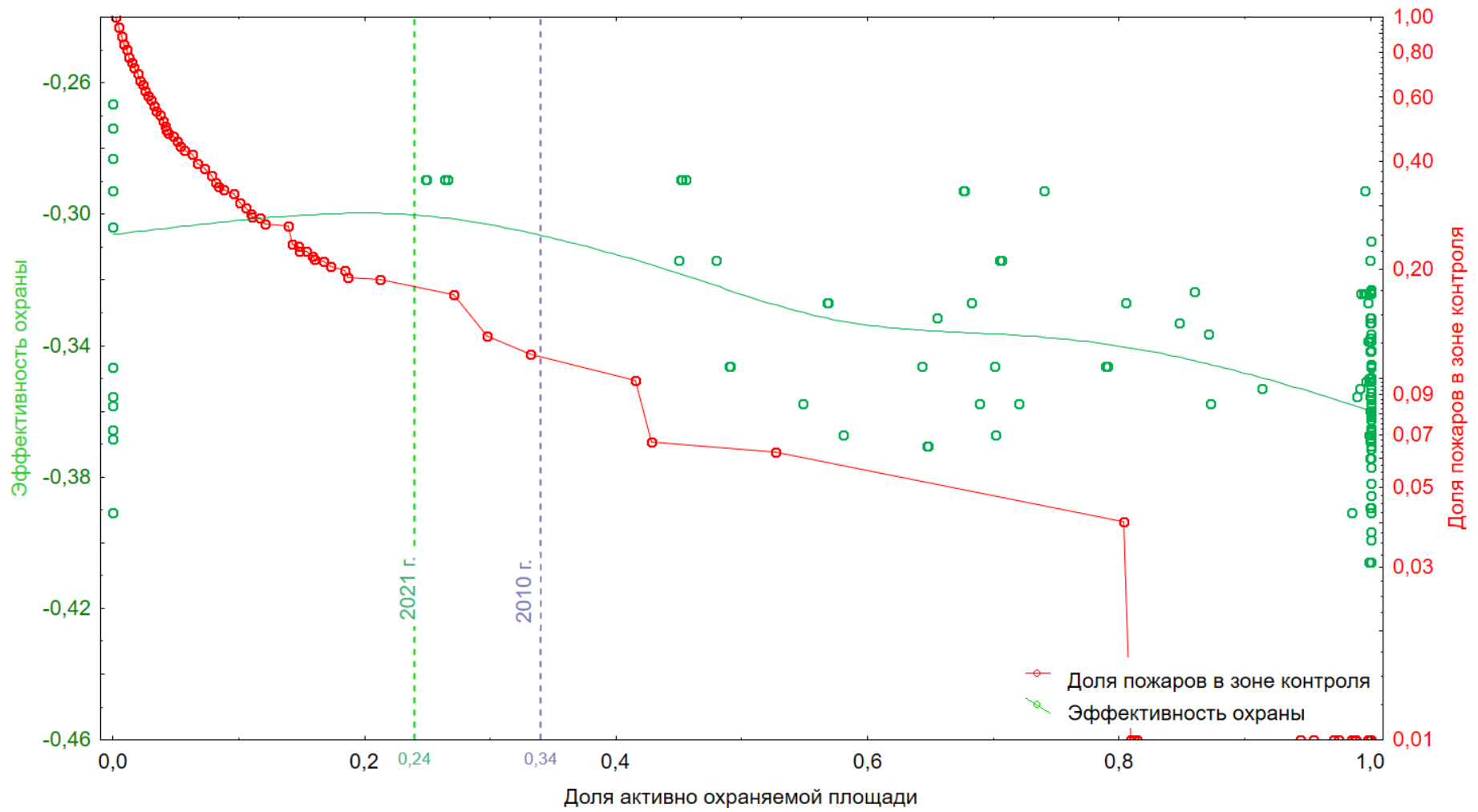


Рисунок Г.19 – Влияние доли активно охраняемой площади на показатель эффективности тушения

### Забайкальский край

Обзорная карта средней многолетней горимости лесничеств Забайкальского края, а также плотность населения по ключевым муниципальным образованиям приведены на рисунке Г.20. На этой же карте нанесены границы зон контроля лесных пожаров по состоянию на 2018 и 2021 годы.

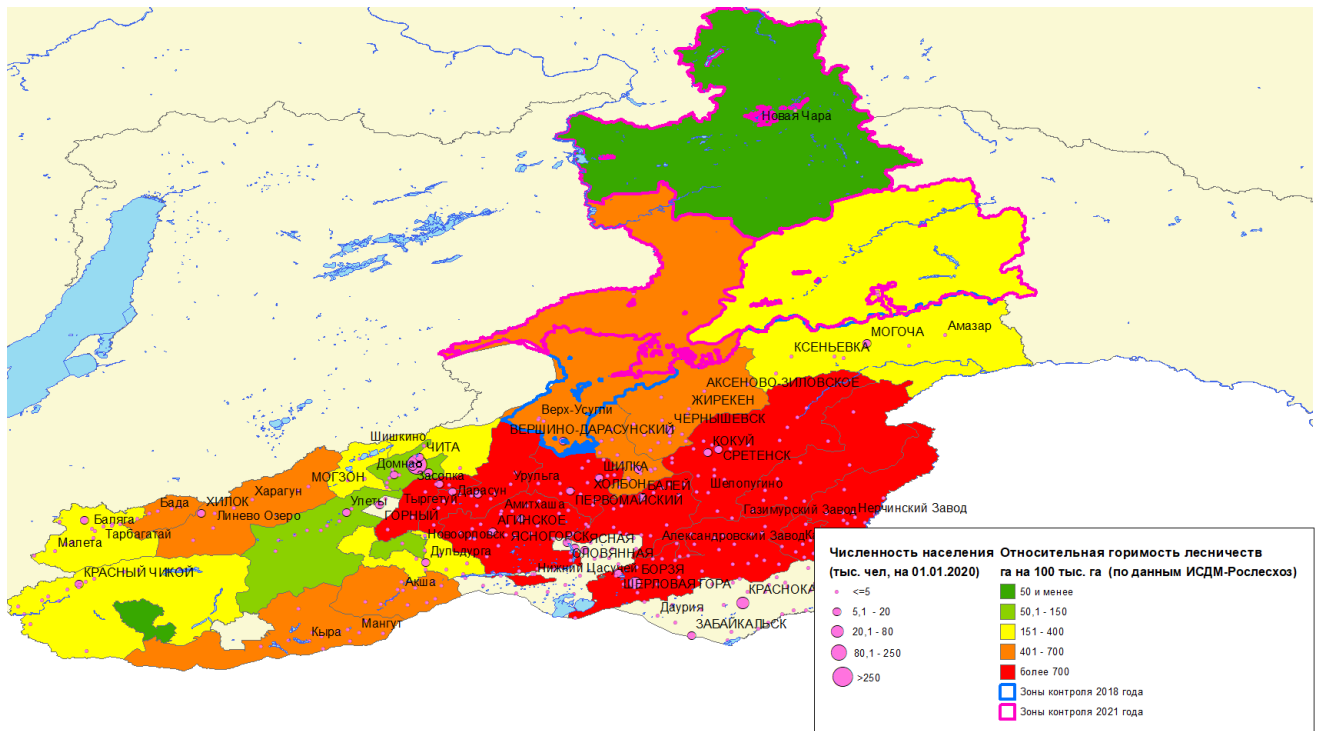


Рисунок Г.20 – Относительная горимость лесничеств, плотность населения и границы зон контроля лесных пожаров Забайкальского края

На основании полученных данных можно сделать вывод о том, что на территории Забайкальского края наиболее адекватный показатель напряженности пожароопасного сезона является показатель, рассчитанный на основе ПВ2.

Полученные в ходе расчёта значения показателя эффективности тушения лесных пожаров тоже распределены нормально (критерий Колмогорова-Смирнова =0,04, при  $p > 0,2$ , таблица Г.9, рисунок Г.21 и Г.22).

Таблица Г.9 – Расчёт частной корреляции значений напряженности пожароопасного сезона и логарифма частоты возникновения лесных пожаров

Показатель (после исключения выбросов по правилу 3 $\sigma$ )	Среднее значение	Стандартное отклонение	Корреляция с значением логарифма частоты возникновения лесных пожаров
Н	36,04	12,58	0,07
Н <sub>ПВ-1</sub>	29,29	12,57	0,06
Н <sub>ПВ-2</sub>	60,23	15,26	<b>0,11</b>

В таблице красным цветом отмечены значения, статистически значимые при  $p < 0,05$ .

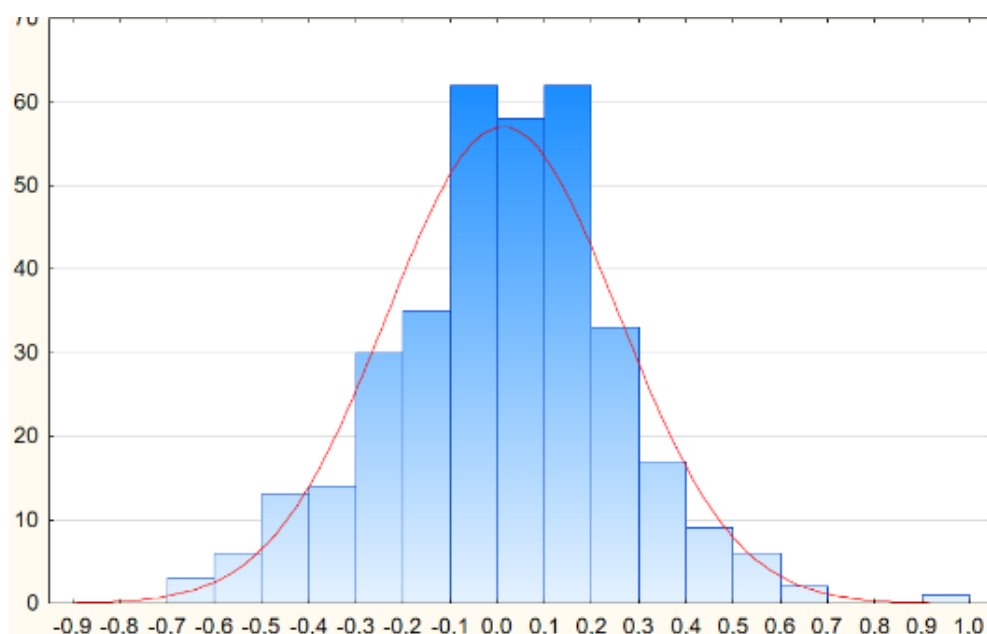


Рисунок Г.21 – Проверка нормальности распределения полученного значения показателя эффективности организации охраны лесов от пожаров

Взаимосвязь между этим показателем с логарифмом плотности населения, а также с КППО не сильно выражена, но статистически значима ( $p$  критерий  $< 0,05$ ), что даёт основание использовать метод множественной регрессии. Последующие расчёты показали, что значение критерия Фишера (4,63) больше нуля – значит применение этого метода является более оправданным, чем использование простого среднего значения.

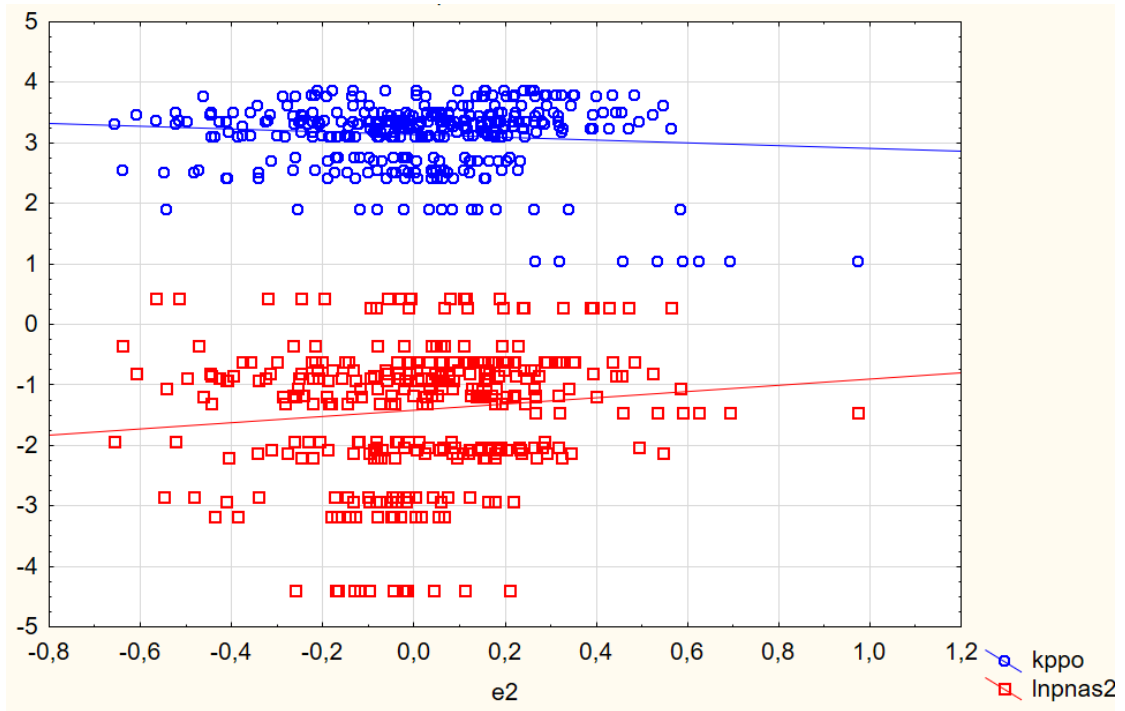


Рисунок Г.22 – Проверка линейности распределения значений показателей, используемых для построения линейной регрессии. На графике  $e_2$  – показатель эффективности охраны лесов от пожаров,  $kppo$  – класс природной пожарной опасности лесов,  $\ln pnas$  – логарифм плотности насел

Для расчёта использовалась выборка из 442 записей (по лесничествам за 2007 – 2020 годы), полученный скорректированный коэффициент детерминации  $R^2=0.016$ ,  $p$ -значение  $<0,1$ , стандартная ошибка оценки 0.22 (таблица Г.10).

Таблица Г.10 – Итоги расчёта множественной регрессии

Фактор	БЕТА	Стандартная ошибка	В	Стандартная ошибка	t(1204)	P-значение
Свободный член			0,158960	0,06	2,76	0,01
Логарифм плотности населения, $\ln(pnas)$	0,12	0,05	0,024022	0,01	2,46	0,01
КППО	-0,10	0,05	-0,036326	0,02	-2,14	0,03

В таблице красным цветом отмечены значения, статистически значимые при  $p < 0,05$ .

Скорректированное значение показателя эффективности работы лесопожарных служб определяется по формуле ( 26 ):

$$e2' = 0,158960 + 0,024022 \times \ln(pnas) - 0,036326 \times \text{КППО} \quad ( 26 )$$

где  $e2'$  – скорректированный показатель эффективности лесопожарных служб (полученный на основе напряжённости пожароопасного сезона по методике ПВ-2)  
 $pnas$  – плотность населения в лесничестве;  
 КППО – средневзвешенный (по площади) класс природной пожарной опасности лесов в лесничестве;

Для дополнительной оценки адекватности результатов множественной регрессии проведём анализ остатков.

Как видно из графиков, остатки распределены по закону распределения близкому к нормальному, что подтверждает адекватность построения модели множественной линейно регрессии (рисунки Г.23 и Г.24).

Рассчитав указанные значения для каждого лесничества, можно построить график взаимосвязи между эффективностью тушения и долей активно охраняемой площади (рисунок Г.26). Кружками указаны значения для отдельных лесничеств в отдельные годы. Сплошной зелёной линией обозначено интерполированное значение взаимосвязи, полученной методом наименьших квадратов. Для наглядности на этом же графике отобразим влияние доли активно охраняемой территории на долю пожаров, которые будут возникать в зоне контроля (красной линией).

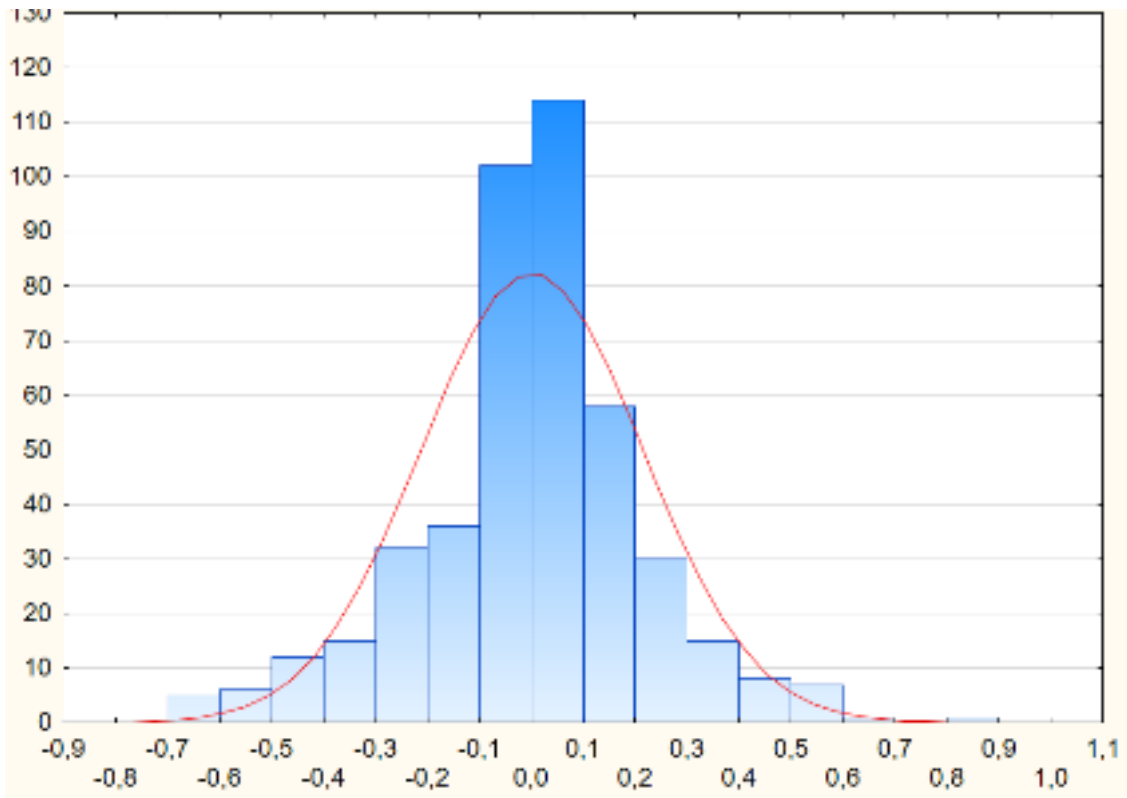


Рисунок Г.23 – Гистограмма распределения остатков

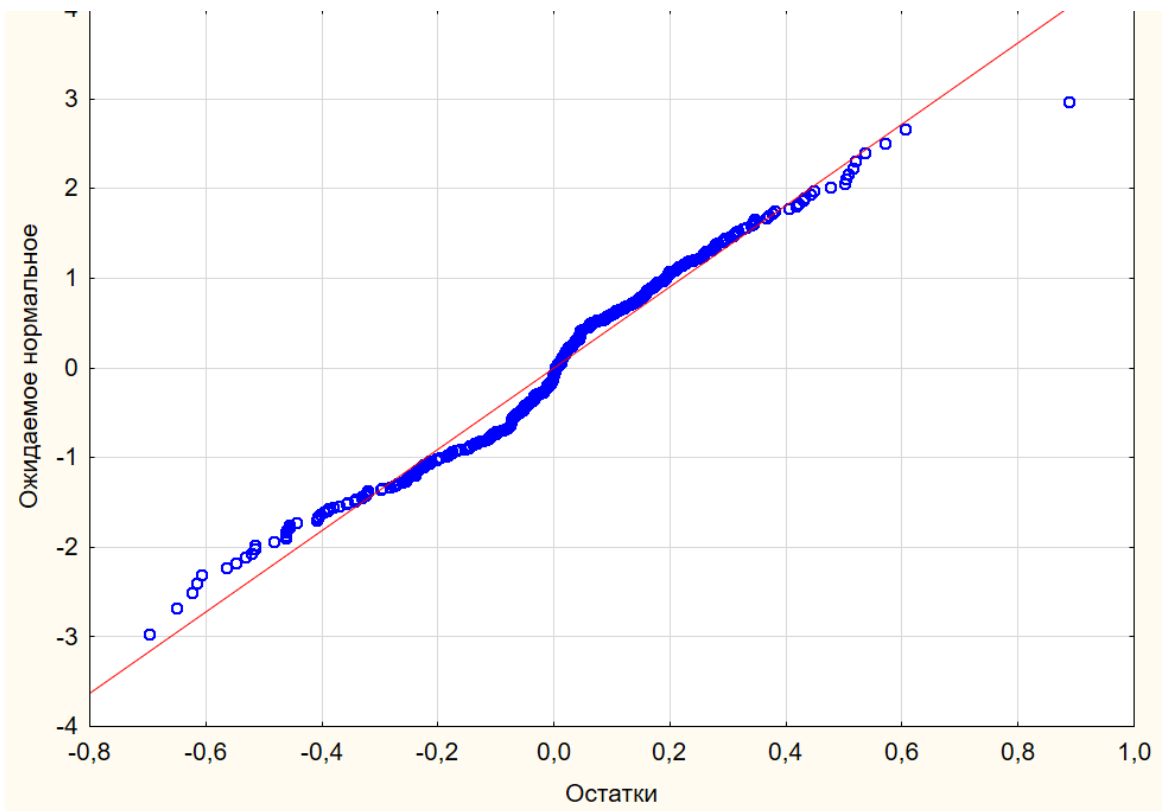


Рисунок Г.24 – Нормальный вероятностный график остатков

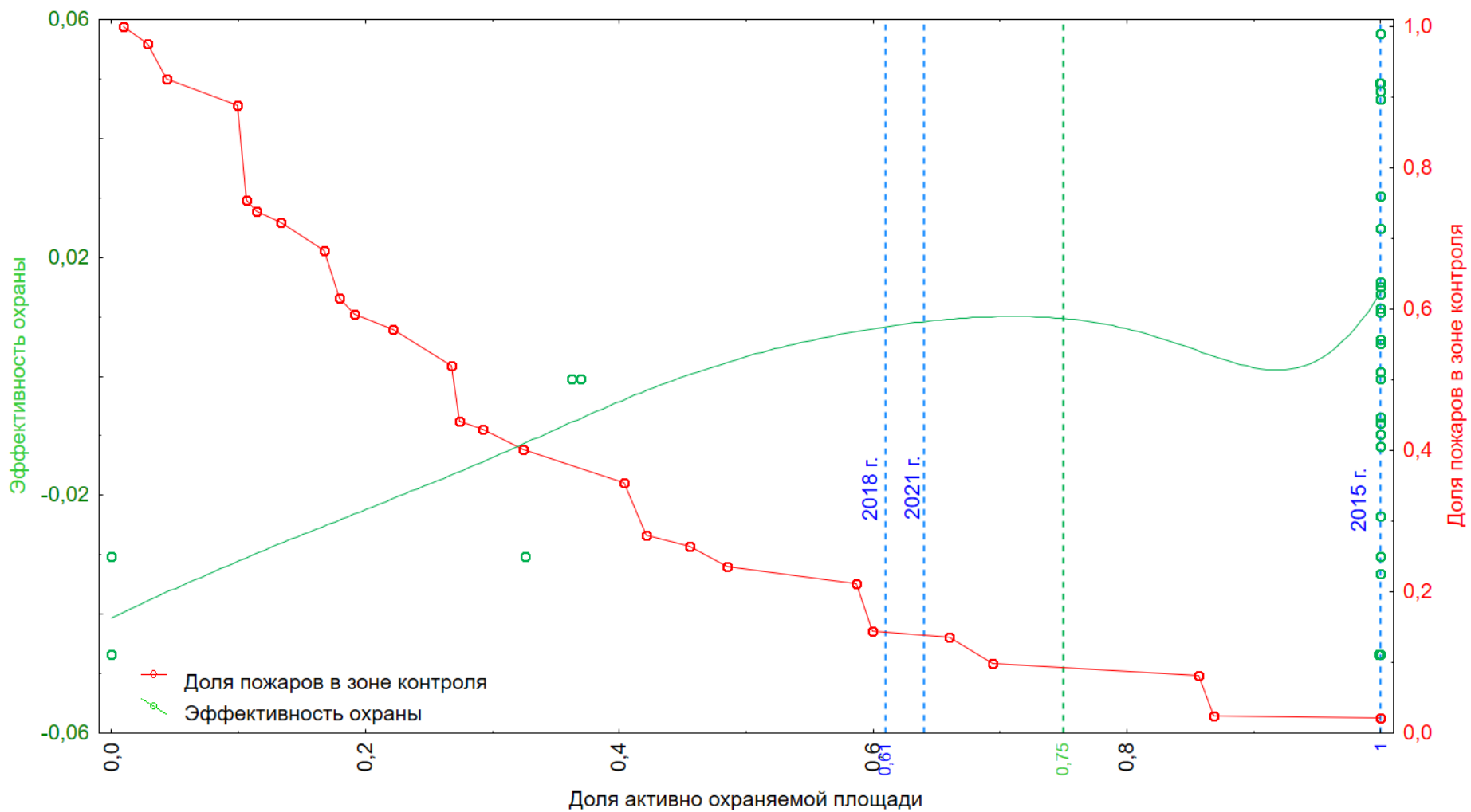


Рисунок Г.25 – Влияние доли активно охраняемой площади на показатель эффективности тушения

Как видно из графика оптимальным значением является 0,75 (см. формулу (27)).

$$S_{зк} = S_{лф} \times (1 - dao) = 32615,9 \times (1 - 0,75) \approx \quad (27)$$

$$\approx 8,2 \text{ млн га} \pm 0.8 \text{ млн га}$$

где  $S_{зк}$  – площадь зон контроля лесных пожаров;

$S_{лф}$  – площадь лесного фонда на территории Забайкальского края;

$dao$  – доля активно охраняемой площади лесов;

Оптимальное значение площади зон контроля лесных пожаров на территории Забайкальского края составляет 8,2 млн га  $\pm$  0.8 млн га. В настоящее время указанная площадь составляет 11,7 млн га. С учётом указанных выше расчётов рекомендуется сократить это значение на 23%  $\div$  30%.

### Иркутская область

Обзорная карта средней многолетней горимости лесничеств Иркутской области, а также плотность населения по ключевым муниципальным образованиям приведены на рисунке Г.26. На этой же карте нанесены границы зон контроля лесных пожаров по состоянию на 2016 и 2021 годы.

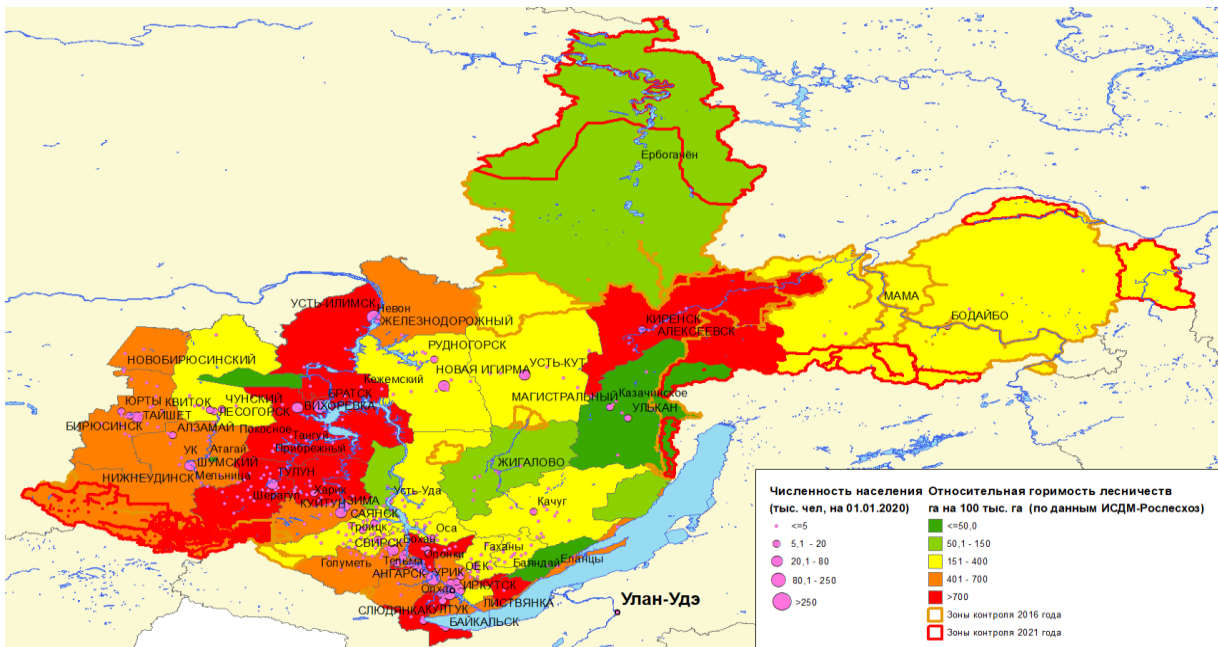
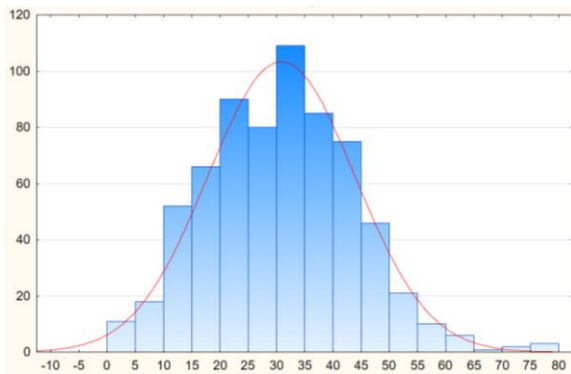
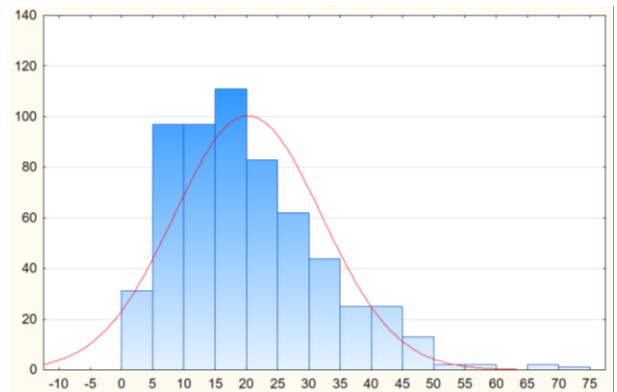


Рисунок Г.26 – Относительная горимость лесничеств, плотность населения и границы зон контроля лесных пожаров Иркутской области

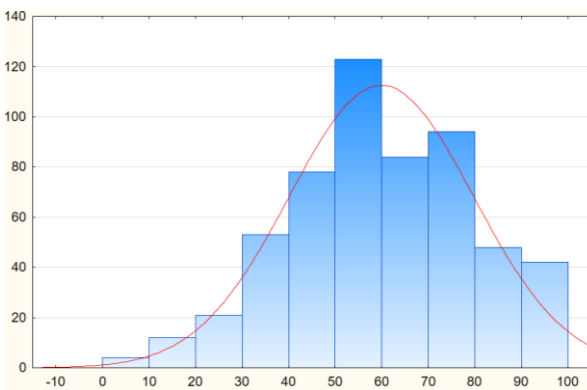
Результат проверки формы распределения исходных данных указан на рисунке Г.27 и в таблице Г.11.



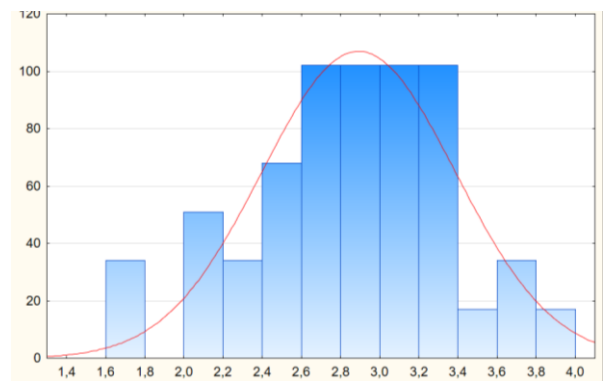
Напряженность пожароопасного сезона по В.Г. Нестерову



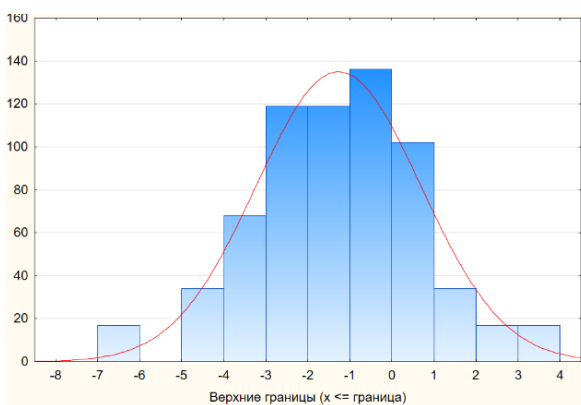
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-1



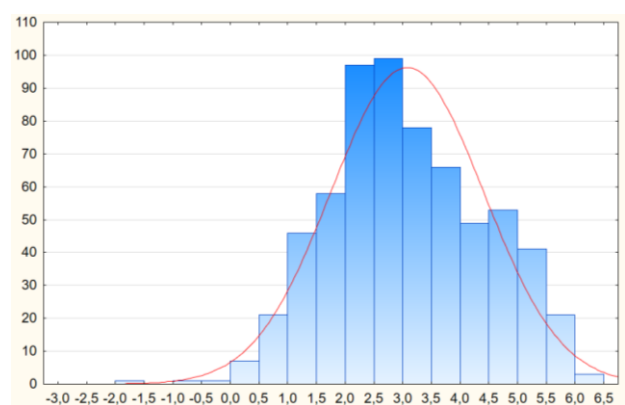
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-2



Класс природной пожарной опасности лесов



Натуральный логарифм плотности населения



Натуральный логарифм частота возникновения лесных пожаров

Рисунок Г.27 – Формы распределения основных показателей

Таблица Г.11 – Оценка исходных данных по Иркутской области на соответствие закону нормального распределения

Показатель	Критерий Колмогорова-Смирнова	Р-значение
Напряженность пожароопасного сезона по В.Г. Нестерову	0,03	>0,2
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-1	0,08	<0,01
Напряженность пожароопасного сезона по ПВ-2	0,03	>0,2
Класс природной пожарной опасности лесов	0,09	<0,01
Натуральный логарифм плотности населения	0,07	<0,01
Натуральный логарифм частота возникновения лесных пожаров	0,05	<0,1

По результатам анализа можно в качестве допущения сделать вывод, что форма распределения значений всех показателей близка к нормальной и в дальнейших расчётах может использоваться коэффициент корреляции Пирсона, а также исключение выбросов по правилу 3-сигм (таблица Г.12).

Таблица Г.12 – Расчёт частной корреляции значений напряженности пожароопасного сезона и логарифма частоты возникновения лесных пожаров при управляемых значениях логарифма плотности населения и КППО

Показатель	Среднее значение	Стандартное отклонение	Корреляция с значением логарифма частоты возникновения лесных пожаров
Н	30,60	12,63	-0,01
Н <sub>ПВ1</sub>	19,86	11,27	0,05
Н <sub>ПВ2</sub>	59,94	20,10	-0,03

Как видно из таблицы значение напряжённости пожароопасного периода практически не коррелирует с частотой возникновения лесных пожаров. Основное влияние оказывает плотность населения (корреляция 0,55 при значении р критерия <0,05). Это говорит не только о том, что большое влияние оказывает человеческий фактор, но и о том, что методику расчёта класса пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды рекомендуется пересмотреть.

Полученные в ходе расчёта значения показателя эффективности тушения лесных пожаров тоже распределены нормально (критерий Колмогорова-Смирнова =0,03, при р>0,2, рисунки Г.28 и Г.29).

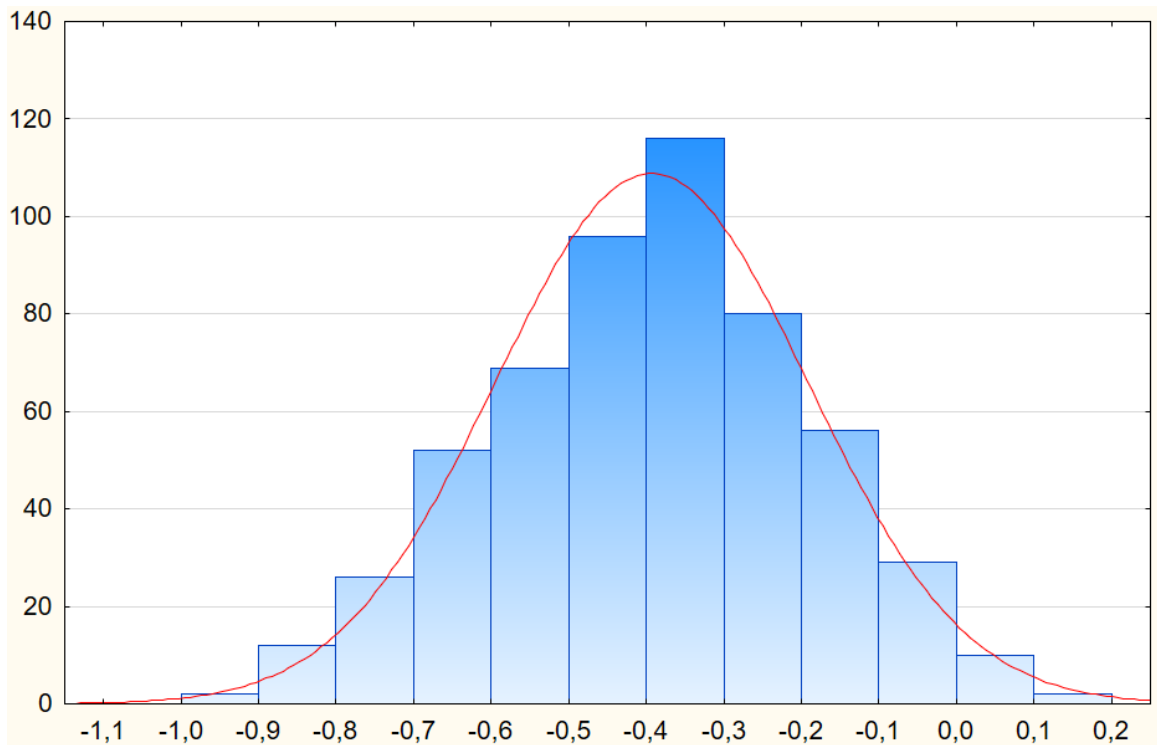


Рисунок Г.28 – Проверка нормальности распределения полученного значения показателя эффективности организации охраны лесов от пожаров

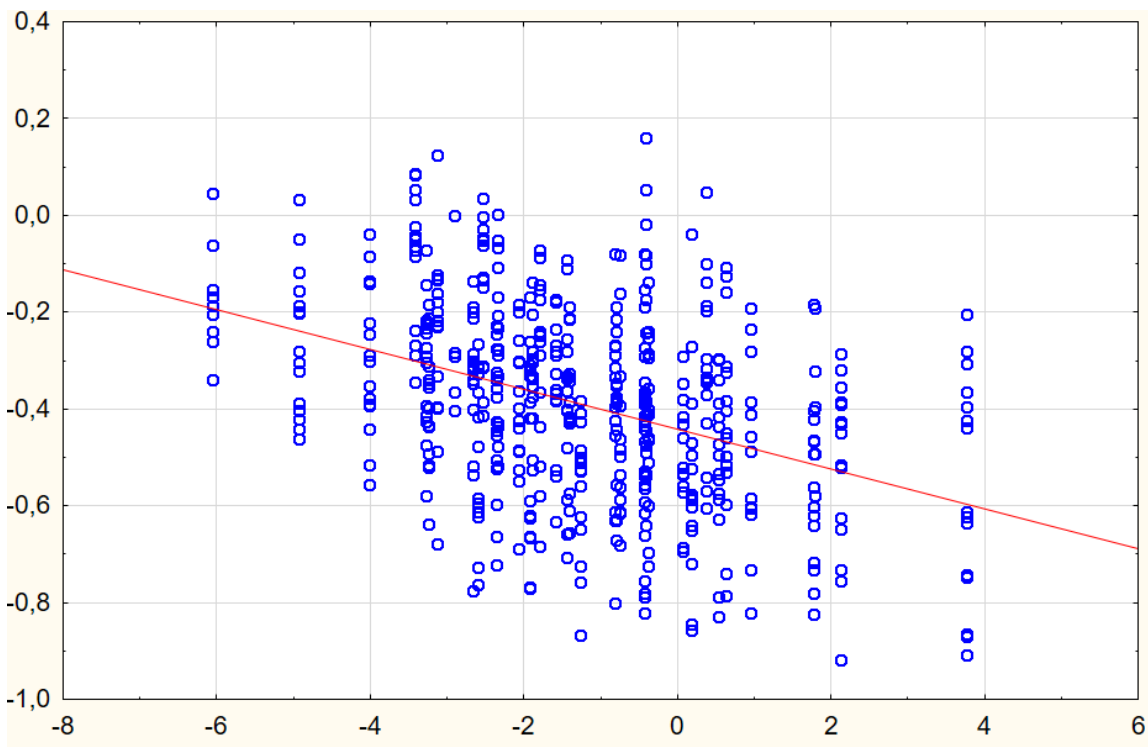


Рисунок Г.29 – Проверка линейности распределения значений показателей, используемых для построения линейной регрессии. Горизонтальная ось – логарифм плотности населения, вертикальная ось – показатель эффективности охраны лесов от пожаров

Для расчёта использовалась выборка их 748 записей (по лесничествам за 2007 – 2020 годы), полученный скорректированный коэффициент детерминации  $R^2=0.04$ , р-значение  $7,37 \times 10^{-13}$ , стандартная ошибка оценки 0.14 (таблица Г.13).

Таблица Г.13 – Итоги расчёта множественной регрессии

Фактор	БЕТА	Стандартная ошибка	В	Стандартная ошибка	t(1204)	Р-значение
Свободный член			-0,4342	0,007	-60,22	0,000
Логарифм плотности населения, $\ln(pnas)$	-0,34	0,03	-0,0323	0,003	-10,02	0,000

В таблице красным цветом отмечены значения, статистически значимые при  $p < 0,05$ .

Скорректированное значение показателя эффективности работы лесопожарных служб определяется по формуле ( 28 ):

$$e1' = -0,4342 - 0,0323 \times \ln(pnas) \quad ( 28 )$$

где  $e1'$  - скорректированный показатель эффективности лесопожарных служб,  
 $pnas$  – плотность населения в лесничестве.

Для дополнительной оценки адекватности результатов множественной регрессии проведём анализ остатков (рисунки Г.30 и Г.31).

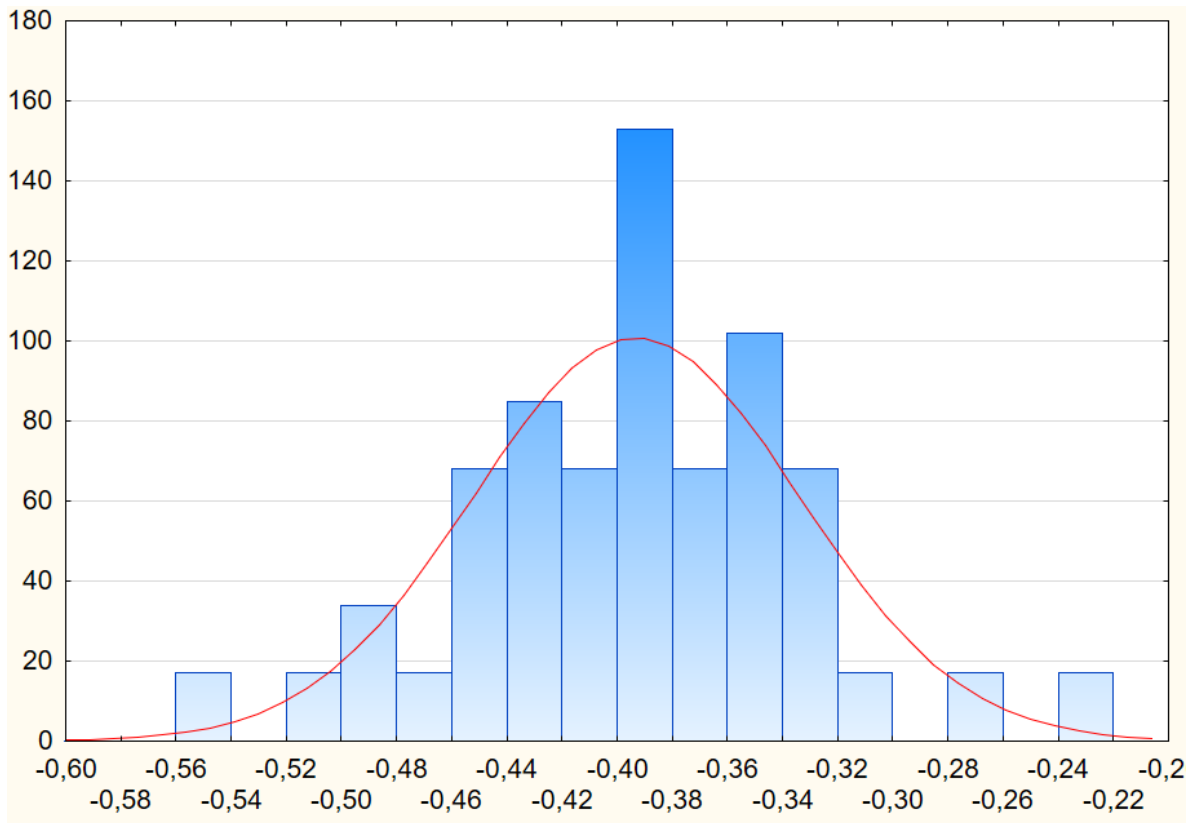


Рисунок Г.30 – Гистограмма распределения остатков

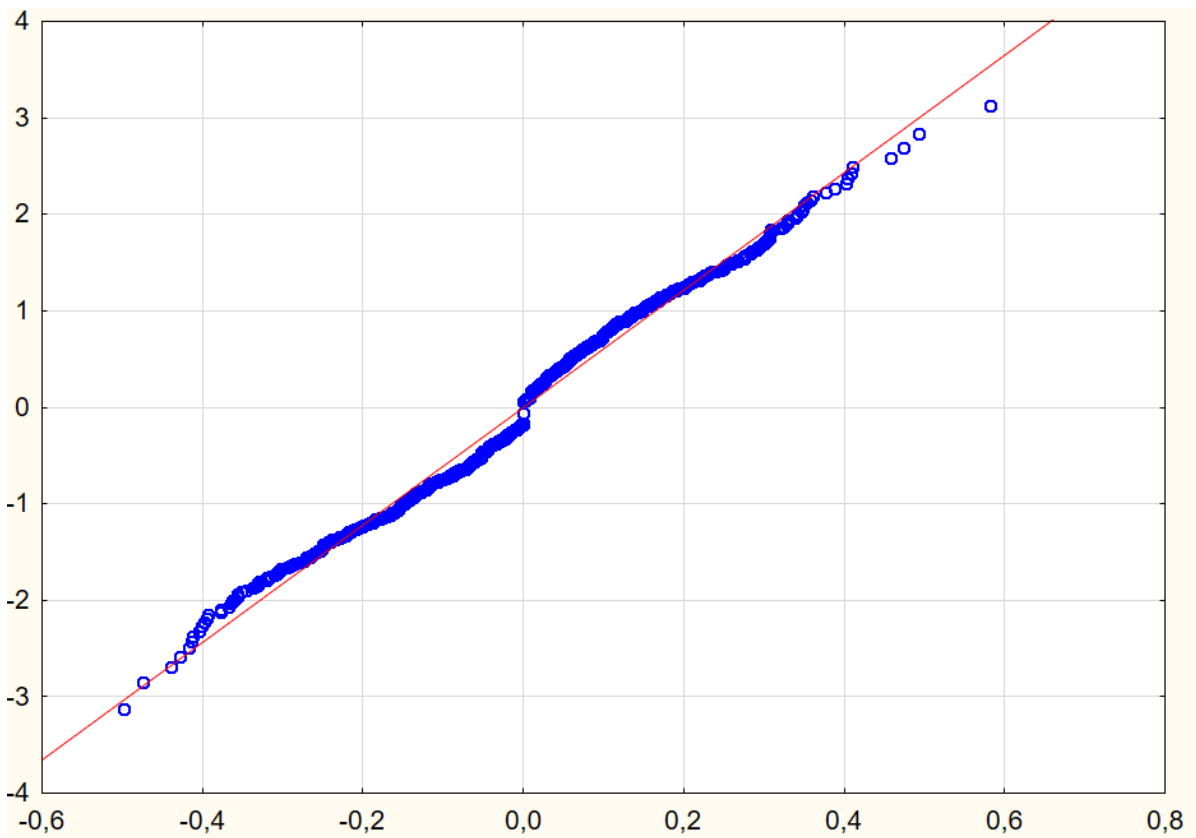


Рисунок Г.31 – Нормальный вероятностный график остатков

Как видно из графиков остатки распределены по закону распределения близкому к нормальному, что подтверждает адекватность построения модели множественной линейной регрессии.

Рассчитав указанные значения для каждого лесничества, можно построить график взаимосвязи между эффективностью тушения и долей активно охраняемой площади (рисунок Г.33).

Кружками указаны значения для отдельных лесничеств в отдельные годы. Сплошной зелёной линией обозначено интерполированное значение взаимосвязи, полученной методом наименьших квадратов. Для наглядности на этом же графике отобразим влияние доли активно охраняемой территории на долю пожаров, которые будут возникать в зоне контроля (красной линией).

Как видно из графика оптимальным значением (в рамках существующего объёма выделяемых ресурсов) является 0,69 (когда темп нарастания доли пожаров в зоне контроля существенно увеличивается). Для расчета соответствующего значения площади воспользуемся формулой ( 29 ).

$$S_{зк} = S_{лф} \times (1 - dao) = 69401,3 \times (1 - 0,69) \approx \quad ( 29 ) \\ \approx 21,5 \text{ млн га} \pm 2.2 \text{ млн га}$$

где  $S_{зк}$  – площадь зон контроля лесных пожаров;  
 $S_{лф}$  – площадь лесного фонда на территории Иркутской области;  
 $dao$  – доля активно охраняемой площади лесов;

Оптимальное значение площади зон контроля лесных пожаров на территории Иркутской области составляет 21,5 млн га  $\pm$  2.2 млн га. В настоящее время указанная площадь составляет 28,3 млн га. С учётом указанных выше расчётов рекомендуется сократить это значение на 16% ÷ 24%.

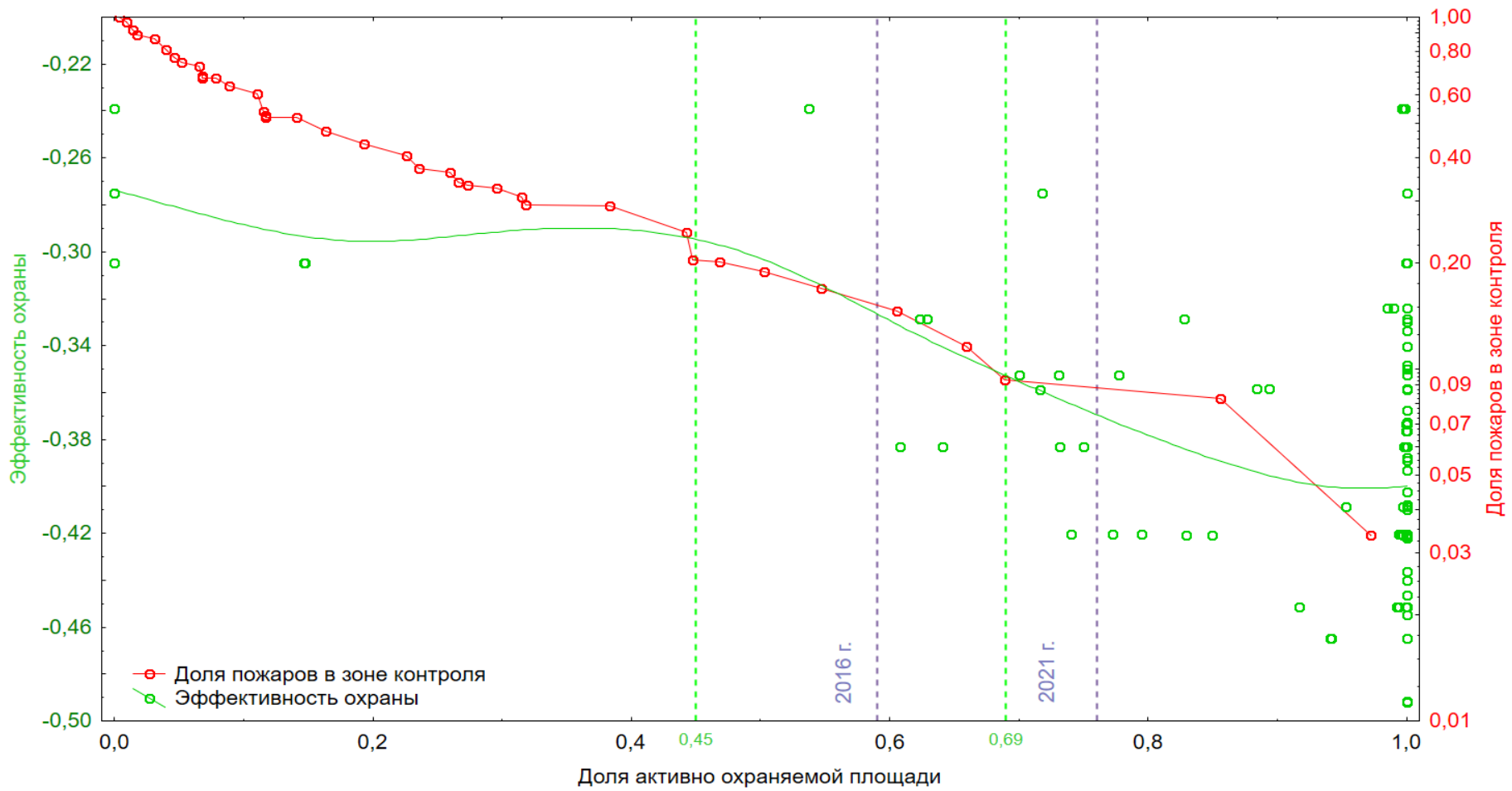


Рисунок Г.32 – Влияние доли активно охраняемой площади на показатель эффективности тушения

**ПРИЛОЖЕНИЕ Д**

**КОПИЯ ПЕРЕЧНЯ АКТОВ ВНЕДРЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ,  
ПОЛУЧЕННЫХ В ХОДЕ ИССЛЕДОВАНИЯ**

п/п	Название результата интеллектуальной деятельности, подлежащего правовой охране	Дата акта внедрения	Наименование организации
1	Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2020621559 Российская Федерация. Тематическая карта-схема "Удаленность территорий от аэродромов из реестра гражданской авиации": № 2020621253 : заявл. 03.08.2020 : опубл. 26.08.2020 / Р.В. Котельников, А.Н. Чугаев ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ.	14.10.2021	Институт лесных технологий СибГУ им. акад. М.Ф. Решетнева
		21.10.2021	ООО "НТЦ "Космические Решения"
2	Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2020621411 Российская Федерация. Распределение объектов, потенциально подверженных лесным пожарам: № 20200621286 : заявл. 04.08.2020 : опубл. 12.08.2020 / Р.В. Котельников, Ю.С. Ачиколова, Ю.В. Салцевич ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ.	14.10.2021	Институт лесных технологий СибГУ им. акад. М.Ф. Решетнева
		22.10.2021	ООО "НТЦ "Космические Решения"
3	Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2020620704 Российская Федерация. Периоды максимума частоты пожаров в лесах Российской Федерации: № 2020620537 : заявл. 03.04.2020 : опубл. 22.04.2020 / Р.В. Котельников, Л.В. Буряк ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ.	16.10.2021	Институт лесных технологий СибГУ им. акад. М.Ф. Решетнева
		21.10.2021	ООО "НТЦ "Космические Решения"
		17.12.2022	ФБУ "Авиалесоохрана"
4	Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2020620679 Российская Федерация. Карта-схема "Среднегодовая относительная горимость лесных районов Российской Федерации": № 2020620414 : заявл. 18.03.2020 : опубл.	18.10.2021	Институт лесных технологий СибГУ им. акад. М.Ф. Решетнева
		20.10.2021	ООО "НТЦ "Космические Решения"

п/п	Название результата интеллектуальной деятельности, подлежащего правовой охране	Дата акта внедрения	Наименование организации
	15.04.2020 / Р.В. Котельников, Л.В. Буряк ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ.	18.12.2022	ФБУ "Авиалесоохрана"
5	Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2022620817 Российская Федерация. Карта-схема "Фактическое начало пожароопасного сезона по многолетним данным": заявл. 24.03.2022 : опубл. 18.04.2022 / Р.В. Котельников ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.	16.12.2022	ФБУ "Авиалесоохрана"
6	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023685522 Российская Федерация. Онлайн-калькулятор пожарной опасности лесных участков расположенных в границах ЗАТО Железногорск: № 2023683927 : заявл. 14.11.2023 : опубл. 28.11.2023 / Р.В. Грязнов, Е.В. Ехалов, Ю.Н. Коваль, Р.В. Котельников, Д.А. Озерский, Е.А. Субботин ; заявитель и правообладатель ФГБОУ ВО СИБИРСКАЯ ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ ГПС МЧС РОССИИ. - 1 с.	30.01.2024	Комбинат благоустройства ЗАТО Железногорск (Красноярский край)
7	Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2023623946 Российская Федерация. Лесофизиологические показатели лесных районов Российской Федерации: № 2023623823 : заявл. 10.11.2023 : опубл. 14.11.2023 / Р.В. Котельников, Л.В. Буряк, В.С. Иванов ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.	28.11.2024	СибГУ им. М.Ф. Решетнева
8	Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2023622685 Российская Федерация. Карта-схема плотности населенных пунктов и территорий, подверженных угрозе лесных пожаров в границе лесных районов: № 2023622356 : заявл. 24.07.2023 : опубл. 07.08.2023 / Р.В. Котельников, Д.В. Карпачев ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.	27.11.2024	СибГУ им. М.Ф. Решетнева

п/п	Название результата интеллектуальной деятельности, подлежащего правовой охране	Дата акта внедрения	Наименование организации
9	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023665954 Российская Федерация. Визуализация территорий, потенциально подверженных угрозе лесных пожаров в границе лесных районов: № 2023665286 : заявл. 24.07.2023 : опубл. 24.07.2023 / Р.В. Котельников, А.В. Брюханов, А.Н. Головина ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.	27.11.2024	СибГУ им. М.Ф. Решетнева
10	Свидетельство о государственной регистрации базы данных 2022622781 Российская Федерация. Лесная пирология и охрана природных территорий от пожаров: термины и определения: № 2022622764 : заявл. 03.11.2022 : опубл. 08.11.2022 / Р.В. Котельников и др. ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.	26.02.2024	Сибирская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС
11	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023668649 Российская Федерация. Сравнение методик оценки пожарной опасности в лесах, в зависимости от условий погоды: № 2023667896 : заявл. 30.08.2023 : опубл. 30.08.2023 / Р.В. Котельников, А.Н. Чугаев ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.	28.11.2024	Министерство природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края
12	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023667203 Российская Федерация. Краткосрочный прогноз частоты возникновения лесных пожаров: № 2023666795 : заявл. 14.08.2023 : опубл. 14.08.2023 / Р.В. Котельников ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.	28.11.2024	Министерство природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края
13	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ 2023669817 Российская Федерация. Расчет рекомендуемых шкал пожарной опасности в лесах: № 2023668349 : заявл. 06.09.2023 : опубл. 20.09.2023 / Р.В. Котельников, А.А.	28.11.2024	Министерство природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края

п/п	Название результата интеллектуальной деятельности, подлежащего правовой охране	Дата акта внедрения	Наименование организации
14	Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024624578 Российская Федерация. Структура финансирования мероприятий по охране лесов от пожаров: заявл. 23.10.2024 : опубл. 08.11.2024 / Р.В. Котельников, А.В. Брюханов, Д.А. Ястребков ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ.		на этапе согласования
15	Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024622878 Российская Федерация. Лесопожарное зонирование в Российской Федерации: № 2024622690 : заявл. 28.06.2024 : опубл. 02.07.2024 / Р.В. Котельников, А.В. Брюханов, Д.А. Ястребков ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.		на этапе согласования
16	Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2024665286 Российская Федерация. Визуализация динамики уровня охраны: № 2024664601 : заявл. 28.06.2024 : опубл. 28.06.2024 / Р.В. Котельников, А.В. Брюханов, Д.А. Ястребков ; заявитель и правообладатель ФБУ ВНИИЛМ. - 1 с.		на этапе согласования

Ученый секретарь ФБУ ВНИИЛМ

Н.И. Трушина

МП



## КОПИЯ ПРИКАЗА О ПОСТАНОВКЕ НА БАЛАНС РЕЗУЛЬТАТА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В КАЧЕСТВЕ НОУ-ХАУ



Федеральное агентство лесного хозяйства  
(Рослесхоз)  
Федеральное бюджетное учреждение  
«Всероссийский  
научно-исследовательский институт лесово-  
дства и механизации  
лесного хозяйства»  
(ФБУ ВНИИЛМ)

### П Р И К А З

от 02.08.23 № 95

г. Пушкино

О результатах инновационной деятельности (РИД)

На основании решения экспертной Комиссии по результатам инновационной деятельности (РИД) ФБУ ВНИИЛМ (протокол № 5 от 01.07.2023 г.)

### П Р И К А З Ы В А Ю:

1) Подать заявку на государственную регистрацию в Федеральной службе по интеллектуальной собственности:

- Программу для ЭВМ "Краткосрочный прогноз частоты возникновения лесных пожаров". Автор: Котельников Р.В. (Ответственный Котельников Р.В.)

- Патент на полезную модель: "Способ восстановления эксплуатационных свойств поврежденной режущей головки возрастного бурава".

Авторы: Проказин Н.Е., Родин С.А., Дегтев В.Г., Коженков Л.Л., Рябцев О.В. (Ответственный Дегтев В.Г.)

2) Зарегистрировать и поставить на бухгалтерский учет в качестве ноу-хау "Модель краткосрочного прогноза частоты возникновения лесных пожаров", автор Котельников Р.В. (Шахраманова Я.Г.)

Срок полезного использования исключительного права на ноу-хау установить 3 (три) года. Балансовую стоимость ноу-хау определить в размере - 4000,0 (четыре тысячи) рублей.

3) Подать Уведомления в Рослесхоз о рассмотренных разработках (Рябцев О.В.).

4) Рассмотреть возможность и размер премирования разработчиков ноу-хау (Слободникова Т.Г.).

5) Приравнять текущую оценочную стоимость методических рекомендаций "Новые подходы к проектированию мероприятий противопожарного обустройства лесов" для постановки на бухгалтерский учет к условной оценке, равной одному рублю.

Директор ФБУ ВНИИЛМ

А.А. Мартышок



**ПРИЛОЖЕНИЕ Ж**

**КОПИЯ СПРАВКИ ОБ УЧАСТИИ АВТОРА В НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИХ РАБОТАХ,  
СВЯЗАННЫХ С ТЕМАТИКОЙ ИССЛЕДОВАНИЯ "ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ  
ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАЗВИТИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ  
ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ"**

Название темы	Тип	Доля участия Котельникова Р.В.
1. Проект рег. № НИОКТР 123042500069-0 "Разработка научно обоснованных предложений по совершенствованию обеспечения мероприятий по охране лесов от пожаров в зависимости от условий погоды на основе цифровых технологий" (2023 год).	Государственное задание	Руководитель темы
2. Проект рег. № НИОКТР 122020400179-6 "Разработка научно обоснованных предложений по повышению эффективности охраны лесов от пожаров с использованием цифровых технологий" (2022, 2024, 2025).	Государственное задание	Руководитель темы
3. Государственный контракт с Минприроды России от 04.09.2017 № ИВ-16-23/71 "Научные исследования в области оценки воздействия лесных пожаров на леса и подготовка научно-обоснованных предложений по совершенствованию законодательства в области оценки прогнозируемого вреда, причиненного лесам лесными пожарами" (2018 год).	Внебюджетная тема по итогам конкурса	Исполнитель
4. Государственный контракт с Минприроды России от 30.07.2019 № 0373100032219000019 "Разработка научно обоснованных предложений по методике выделения зон контроля лесных пожаров" (2019-2020 годы).	Внебюджетная тема по итогам конкурса	Руководитель темы
5. Государственный контракт с Республикой Саха (Якутия) от 15.06.2020 № 081650000620005172 "Разработка научно обоснованных предложений по распределению сил и средств лесопожарных формирований по уровням лесопожарной охраны для контроля пожарной обстановки на землях лесного фонда на труднодоступных и удаленных территориях Республики Саха (Якутия)".	Внебюджетная тема по итогам конкурса	Руководитель темы

