На правах рукописи

Перминов Владислав Валерьевич

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОРАЖАЮЩИХ ФАКТОРОВ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРОВ НА ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛЕСОВ ТОМСКОЙ ОБЛАСТИ

1.5.15. Экология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Томск – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет».

Научный руководитель: доктор биологических наук, доцент
Воробьев Данил Сергеевич

Официальные оппоненты:

Мазной Анатолий Сергеевич, доктор технических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Томский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, заместитель директора по научной работе

Манаков Юрий Александрович, доктор биологических наук, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт почвоведения и агрохимии Сибирского отделения Российской академии наук, лаборатория рекультивации почв, ведущий научный сотрудник

Перминов Валерий Афанасьевич, доктор физико-математических наук, доцент, федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», отделение контроля и диагностики, доцент

Защита состоится 25 октября 2023 г. в 15 час. 00 мин. на заседании диссертационного совета «НИ ТГУ.1.5.02», созданного на базе Института биологии, экологии, почвоведения, сельского и лесного хозяйства (Биологического института) федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет», по адресу: 634050, г. Томск, пр. Ленина, 36 (Научная библиотека ТГУ, малый конференц-зал).

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке и на официальном сайте федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» www.tsu.ru.

Материалы по защите диссертации размещены на официальном сайте ТГУ: https://dissertations.tsu.ru/PublicApplications/Details/863888a6-3d93-4088-9902-88b557ea39c1

Автореферат разослан «__» сентября 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат биологических наук,
доцент

Франк Юлия Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Томская область занимает территорию таежной лесорастительной зоны площадью 314,4 тыс. км^2 и отличается высокой лесистостью – 61,4 %, покрытые лесами земли занимают площадь 19288,8 тыс. га, из них 53,4 % покрыты ценными хвойными породами. При такой обширной территории и уровня лесистости столкновение с проблемой лесных пожаров неизбежно. Для обеспечения требуемого уровня пожарной безопасности в регионе ведутся непрерывные и многоплановые работы: подготовка кадров, совершенствование экспериментальной и учебно-материальной базы научно-исследовательских учреждений; разработка методов и способов тушения пожаров; мониторинг и прогнозирование.

Общие положения охраны и защиты лесов, содержатся в Лесном кодексе Российской Федерации. В Томской области осуществляются многочисленные мероприятия по охране лесов от ландшафтных пожаров, включая мероприятия по очистке леса от захламленности, регулирование породного состава древостоев и санитарные рубки. Несмотря на большой объем выполняемых работ по профилактике пожароопасных ситуаций ежегодные показатели возникновения пожаров остаются достаточно высокими.

Степень разработанности темы исследования. Изучение ландшафтных пожаров охватывает различные области науки и техники. Поиск взаимосвязей между лесными пожарами и изменением климата является актуальной задачей, что отражено в ряде работ российских и зарубежных авторов: V. I. Kharuk, M. L. Dvinskayaa, I. A. Petrova, A. AghaKouchak, F. Chiang, L. S. Huning, М. А. Копейкин, С. В. Коптев, С. В. Третьяков, Г. А. Иванова, Э. Н. Валендик, П. М. Матвеев, М. А. Софронов, Е. И. Пономарев, Е. Г. Швецов, С. А. Барталев, Ф. В. Стыценко, С. А. Хвостиков, Е. А. Лупян, О. С. Токарева, Д. А. Алшаиби Ахмед, О. А. Пасько.

Для обеспечения контроля и управления пожарами, необходимо обладать достоверными знаниями не только о составе насаждений на конкретном участке, но и дополнительно описывать и характеризовать такие участки растительности, как объекты возможного горения, т.е. как комплексы горючих растительных материалов, учитывая условия их увлажнения, высыхания и горения. Известно, что распространение природных пожаров осуществляется за счет нескольких механизмов – радиационный и конвективный перенос тепла от пламени и перенос горящих и тлеющих частиц. Большой вклад в изучение ландшафтных пожаров внесли российские и зарубежные ученые: А. М. Гришин, А. И. Фильков, Е. Л. Лобода, M. E. Houssami, E. Mueller, M. A. Santoso, E. Christensen, J. Yang, G. Rein, А. А. Маленко, Д. П. Касымов. Вклад горящих и тлеющих частиц в распространение пожара недооценен и малоизучен, а в свою очередь, образующиеся во фронте пожара горящие и тлеющие частицы способствуют возникновению новых очагов зажигания лесных горючих материалов – пятнистая форма распространения пожара. Проблема невозможности моделировать добавочный механизм распространения лесных пожаров пятнами от горящих частиц, падающих на

почву, была сформулирована еще в середине прошлого столетия известным российским ученым-пирологом Э. Н. Валендиком. В настоящее время данная проблема полностью не решена, поэтому сохраняется потребность в экспериментально проверенной информации о качественных и количественных характеристиках горящих и тлеющих частиц, разбрасываемых пожаром, и их потенциале воспламенять напочвенный покров. Отсутствие таких данных делает невозможным развитие методов прогноза пожарной опасности, а также совершенствование мер и рекомендаций для проведения более оперативной и эффективной работы по локализации и тушению лесных пожаров.

Цель работы – разработать предложения по совершенствованию механизмов противопожарного обустройства в лесах посредством обобщения данных многолетнего мониторинга лесных пожаров, деградации и воспроизводства лесов на территории Томской области, изучения особенностей противопожарной охраны и защиты лесов в регионе, получения собственных экспериментальных данных о возникновении очагов пятнистых пожаров.

Для достижения цели были поставлены следующие **задачи:**

1. Провести оценку фактической горимости и изучить особенности искусственного воспроизводства лесов на территории Томской области за десятилетний период.
2. Проанализировать данные о причинах возникновения лесных пожаров и специфику противопожарной охраны и защиты лесов в регионе.
3. Разработать устройство для генерации горящих и тлеющих частиц, конструктивные возможности которого позволят широко варьировать энергетическими характеристиками потока частиц в эксперименте.
4. Экспериментально изучить количественные характеристики и процесс переноса горящих и тлеющих частиц, разбрасываемых пожаром, их потенциал по инициированию очагов возгорания напочвенного покрова.
5. Разработать предложения по совершенствованию региональной системы противопожарного обустройства в лесах.

Научная новизна. Проведено обобщающее исследование приоритетных данных о характеристиках горимости лесного фонда и искусственного лесовоспроизводства Томской области, анализ многолетней статистики низовых пожаров и ее формализация. Теоретически обоснованы конструктивные особенности экспериментальной установки для генерации горящих и тлеющих частиц, с помощью которых достигнута возможность широко варьировать энергетическими характеристиками потока разбрасываемых пожаром частиц. Восполнен существующий пробел знаний о характеристиках, разлетающихся от пожара горящих и тлеющих частицах и их потенциале в возникновении новых очагов возгорания напочвенного покрова. Обосновано предложение о необходимости увеличения минимально допустимой ширины минерализованных полос для разработки систем противопожарного обустройства в лесах.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты исследования обращают внимание не необходимость учета пирологической неоднородности отдельных частей лесного фонда Томской области, установленной на

основании данных о качественных и количественных характеристиках лесных пожаров, при разработке мероприятий по охране лесов от пожаров. Проанализированы результаты работ по искусственному лесовосстановлению, как процесса противоположного утрате лесных ресурсов при пожарах и напрямую влияющего на формирование лесных фитоценозов. Полученные экспериментальные данные о разбрасывании и взаимодействии горящих и тлеющих частиц с напочвенным покровом помогают лучше понять природу пятнистых пожаров и будут использоваться для уточнения математической модели лесных пожаров. На основании собственных экспериментальных данных о дальности полета горящих и тлеющих частиц перед кромкой пожара даны рекомендации по совершенствованию противопожарного обустройства в лесах посредством создания минерализованных полос. Для повышения эффективности профилактических мероприятий при противопожарном обустройстве в лесах минимально допустимая ширина минерализованных полос должны быть не менее среднего расстояния разлета горящих и тлеющих частиц из пожара, которое составляет 3,1 ± 0,2 м по результатам экспериментов, проведенных при помощи разработанного генератора. Полученные в ходе исследования данные использованы при подготовке образовательных программ для бакалавров и магистров направления 35.03.01 и 35.04.01 «Лесное дело».

Методология и методы исследований. Методологической основой исследования послужили труды как российских, так и зарубежных ученых в области лесной пирологии. При анализе и обработке материалов использованы классические научно-обоснованные методики. Статистическая обработка данных проведена методами описательной статистики, при помощи непараметрического критерия Манна-Уитни, коэффициента корреляции Спирмена в программе Excel.

Положения, выносимые на защиту:

1. Лес на территории Томской области характеризуется низкой степенью горимости по количеству пожаров и высокими показателями относительной горимости по пройденной огнем площади, приоритетной причиной возникновения лесных пожаров является антропогенный фактор.

2. Пирологическая неоднородность лесорастительных зон Томской области обусловлена достоверно более высокими показателями средней площади обнаружения и средней площади ликвидации лесных пожаров в средне-таежном равнинном районе.

3. Искусственное лесовосстановление в Томской области характеризуется территориальной неоднородностью, распределение лесопосадочного материала по породам при искусственном воспроизводстве лесов способствует поддержанию естественного видового состава древесных насаждений, в том числе коренных южнотаежных пихтовых лесов.

4. Разработанное устройство для генерации горящих и тлеющих частиц обеспечивает техническую возможность экспериментально изучать добавочный механизм распространения лесных пожаров пятнами от частиц, падающих на напочвенный покров.

Личный вклад автора. Результаты диссертационного исследования получены автором лично и при его непосредственном участии, в том числе автор принимал участие в планировании, проведении и интерпретации результатов экспериментов, внес творческий вклад в создание результатов интеллектуальной деятельности. Самостоятельно выполнены сбор лесного горючего материала, оценка фактической горимости лесов, лесовосстановления, патентно-информационный поиск и анализ научной литературы, статистический анализ и интерпретация полученных результатов, сформулированы выводы диссертационной работы.

Степень достоверности результатов исследования. Обоснованность и достоверность результатов исследований подтверждается значительными по объему данными многолетнего мониторинга лесных пожаров, деградации и воспроизводства лесов на территории Томской области, применением апробированных научно-обоснованных методик. Определение в эксперименте количественных характеристик горящих и тлеющих частиц проводилось на современном лабораторном оборудовании. Статистическая обработка результатов экспериментальных работ выполнялась с оценкой нормальности распределения и достоверности корреляционной связи получаемых зависимостей.

Апробация результатов исследования. Результаты исследований представлены в виде устных докладов на 5 Всероссийских и Международных научных собраниях: XXI Всероссийская научная конференция с международным участием «Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии»; IX Международная конференция школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых (Томск, 2020); XXII Всероссийская научная конференция с международным участием «Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии» (Томск, 2021); XXIV Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (Москва, 2022); Международная научно-практическая конференция «Сейфуллинские чтения – 18: «Молодежь и наука – взгляд в будущее» (Астана, 2022).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 3 статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук (из них 1 статья в российском научном журнале, входящем в Scopus), 5 публикаций в сборниках материалов международных и всероссийской с международным участием научных и научно-практической конференций, форумов; получен 1 патент Российской Федерации.

Объем и структура работы. Диссертационная работа состоит из введения, 5 глав, заключения, списка источников и литературы, включающего 203 наименования, в том числе на иностранном языке, и 4 приложений. Работа изложена на 131 странице машинописного текста и включает 27 рисунков и 10 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе «Поражающие факторы лесных пожаров и влияние на экологическую обстановку в Томской области» рассмотрены особенности взаимного влияния рельефа, почвы, гидрологической сети, климата на формирование растительного покрова Томской области. Территория Томской области по лесорастительному районированию относится к Западно-Сибирскому средне-таежному равнинному району и Западно-Сибирскому южно-таежному равнинному району Таежной зоны Организационная структура управления землями лесного фонда состоит из 21 лесничества, которые включают 71 участковое лесничество. Основные древесные породы, произрастающие в Томской области: ель сибирская *Picea obovata* L., пихта сибирская *Abies sibirica* L., лиственница сибирская *Larix sibirica* L., сосна сибирская кедровая *Pinus sibirica*, сосна обыкновенная *Pinus sylvestris* L., береза повислая *Betula pendula* Roth, осина обыкновенная *Populus tremula* L.

Во второй главе «Проблема ландшафтных пожаров, охрана и восстановление лесов Томской области» приведена классификация лесных пожаров, обобщены сведения о возникновении и распространении лесных пожаров.

Рисунок 1 – Минерализованная полоса без лесного горючего материала

Описаны различные подходы к изучению проблемы лесных пожаров, с помощью физико-математических моделей и прогнозирования лесных пожаров. Отражены экспериментальные подходы к изучению ландшафтных пожаров, описаны современные способы обнаружения и мероприятия по тушению и профилактики лесных пожаров, а также противопожарное обустройство в лесах (рисунок 1). Приведен анализ новейших отечественных разработок для предотвращения и тушения лесных пожаров. На основании патентной документации установлено, что основными патентообладателями являются крупные университеты, а авторами – сформировавшиеся научные коллективы, задача которых в том числе непрерывное совершенствование технических решений и усиление патентных портфелей научных организаций. Отражены особенности естественного и искусственного возобновления лесных ресурсов на территории Томской области.

В третьей главе «Методы и организация исследования» описаны программа исследования, характеристика объектов и методов исследования, объем выполненных работ. Для комплексного анализа горимости леса,

относящегося к лесному фонду Томской области, за период 2012–2021 гг. послужили архивные документы Департамента лесного хозяйства, а также ранее опубликованные научные работы. В рамках исследования определена относительная горимость лесов по числу случаев на 1 млн. га и по площади на 1 тыс. га. Выявлены самые продолжительные пожароопасные сезоны по фактической горимости за исследуемый период. Определены площади обнаружения пожара, площади ликвидации пожара, вид пройденных пожаром территорий и причины возникновения. Проведен сравнительный анализ между лесорастительными подзонами. Для оценки горимости лесов использована шкала, разработанная институтом «Росгипролес» (таблица 1).

Таблица 1 – Шкала оценки фактической горимости лесов

Среднегодовая фактическая горимость лесов		Степень относительной горимости лесов	Класс фактической горимости лесов
по числу случаев на 1 млн. га (частота пожаров)	по пройденной огнем площади в га на 1 тыс. га (горимость)		
201 и более в год	более 1 га в год	высокая	1
от 101 до 200	от 0,51 до 1,0	выше средней	2
от 51 до 100	от 0,21 до 0,50	средняя	3
от 5 до 50	от 0,06 до 0,20	ниже средней	4
менее 5	менее 0,05	низкая	5

Для комплексного анализа лесовосстановительных работ на территории Томской области за период 2012–2021 гг., послужили архивные документы Департамента лесного хозяйства Томской области. Определены площади лесовосстановления, установлен объем и состав пород посадочного материала.

Эксперименты по определению характеристик горящих и тлеющих частиц проводились на полигоне, а также в Большой аэрозольной камере Института оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН, объем которой составляет 2000 м^3. Работа в такой аэрозольной камере позволяет избавиться от влияния бокового и лобового ветра, который неизбежно присутствует при работе в полевых условиях и оказывает влияние на характеристики летящих частиц. В качестве исследуемого материала применяются кора и веточки сосны обыкновенной (*P. sylvestris*). Выбор породы основывался на общей структуре лесных насаждений Томской области по лесничествам. Эксперименты по определению характеристик горящих и тлеющих частиц проводились с помощью экспериментальной установки по генерации горящих и тлеющих частиц по патенту РФ № 183063.

Генератор горящих и тлеющих частиц подготавливают к работе в следующей последовательности. Перед запуском установки необходимо подготовить огневую площадку 10×10 метров в металлическом ангаре или на открытой местности; подготовить площадку с образцами растительных горючих материалов; подготовить средства пожаротушения: емкость с водой, огнетушитель, шланг подачи воды. Подготовить аппаратуру видео и фотосъемки, приборы регистрации данных и сбора исследуемых образцов.

Рисунок 2 – Процесс работы генератора горящих и тлеющих частиц в большой аэрозольной камере Института оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН

Выход генератора на рабочий режим осуществляется следующим образом. Включить подачу воздуха в горн на малых оборотах вентилятора со скоростью потока воздуха не более 1 м/с. Открыть подачу газа на баллоне в горн. Осуществить загрузку частиц в рабочую часть установки. Затем увеличить обороты вентилятора подачи воздуха до 5–6 м/с. Увеличить подачу газа путем более сильного нажатия на рычаг (патент № 183063).

При соблюдении указанных подготовительных работ и технических параметров на выходе из горна появится пламя и происходит процесс выброса частиц образцов горючих растительных материалов, загруженных в горн. Одним из основных преимуществ установки, является возможность работы генератора, в непрерывном режиме, тем самым воспроизводя условия приближенные к реальному пожару. Процесс генерации горящих и тлеющих частиц в большой аэрозольной камере Института оптики атмосферы им. В. Е. Зуева СО РАН иллюстрирует рисунок 2.

С целью исследования воздействия горящих и тлеющих частиц был собран лесной горючий материал на территории Тимирязевского лесничества Томской области (рисунок 3). Территории для сбора материала выбирались по таксационным описаниям лесничеств и в соответствии с данными о пройденных пожарами площадях. Сбор материала происходил на территории Тимирязевского лесничества в 10 разных местах, в весенне-осенний период. Выбирались кварталы и выделы, в которых возникали лесные пожары за последние 2–3 года.

На территории кварталов всего было отобрано 10 участков. Более 80 % обследуемых участков относится к лесопарковым зонам, часть которых входит в зоны особо охраняемых территорий. Класс пожарной опасности приведен в соответствии с данными лесохозяйственного регламента Тимирязевского лесничества.

Для описания состава насаждения использовались стандартные обозначения, видового состава и типов леса. Обследования производились исключительно на свежих гарях с 2018 по 2021 год включительно. Определен таксационный состав, степень поврежденности древостоя. Обследования показали различные степени поврежденности древостоя, высота повреждения (нагара) деревьев варьировалась от 0,5 до 4 м. На участках обследования

погибшими, можно считать, лишь единичные деревья. Гари прошлых лет, имели признаки естественного возобновления. Начиная со второго года из-за активного естественного лесовосстановления крайне затруднительно дать визуальную оценку состояния лесных горючих материалов, подвергшихся пожару. Следовательно оценка вклада лесных горючих материалов на пожарную обстановку возможна только непосредственно после пожара, то есть при первичном выезде на погоревшие территории, причем следует учитывать условия увлажнения, высыхания и горения, а также сезонную динамику. На всех обследованных участках лесной горючий материал, подвергшийся воздействию пожара, имел следы распространения до заградительных участков, например минерализованные полосы, проселочные дороги, которые являются препятствием для распространения низового пожара.

Рисунок 3 – Карта-схема расположения гарей, на территории Тимирязевского лесничества, Темерчинского участкового лесничества, урочища «Тимирязевское»

В качестве имитаторов горящих и тлеющих частиц во всех опытах использовалась кора *P. sylvestris* с размерами 10×10, 15×15, 20×20, 25×25, 30×30 мм^2 и толщиной 5 мм, а также веточки диаметром (от 2 до 4 мм, от 4 до 6 мм, от 6 до 8 мм) и длиной 10 мм, 20 мм, 40 мм и 60 мм. Для определения температуры генерируемых на установке частиц использовалась инфракрасная камера JADE J530SB с узкополосным оптическим фильтром, со спектральным интервалом от 2,5 до 2,7 мкм, позволяющим измерять температуру в диапазоне от плюс 310 ^{o}C до плюс 1500 ^{o}C. Матрица тепловизора имела размеры 320×240 пикселей. Обработка результатов проведенного эксперимента, производилась с использованием программного обеспечения Altair. Для регистрации падающих на подстилающую поверхность горящих и тлеющих частиц использовалась видеокамера Canon LEGRIA HF R86 («Canon Inc.», Китай), а для фиксации процесса генерации и переноса частиц использовалась экшн-камера Sony FDR X3000 («Sony Group Corporation», Китай). Плотность напочвенного покрова варьировалась в диапазоне от 0,2 до 0,48 кг/м^2. Влажность образцов контролировалась с помощью анализатора влажности AND MX-50 (A&D Co. Ltd, Япония) с точностью 0,01 %, масса образцов – электронными весами AND HL-100 (A&D Co. Ltd, Япония).

Картографический материал был обработан и подготовлен с помощью программного обеспечения MapInfo Professional 11.5, SasPlanet. Для измерения диаметра деревьев использовалась рулетка, а высоту эклиметром.

В рамках исследования в средне-таежному району отнесли следующие лесничества: Верхнекетское, Парабельское, Александровское, Колпашевское, более 90 % площади Каргасокского и половину площади Васюганского. К Западно-Сибирскому южно-таежному равнинному району отнесли лесничества: Молчановское, Зырянское, Кедровское, Бакчарское, Кожевниковское, Улу-Юльское, Томское, Кривошеинское, Тегульдетское, Первомайское, Васюганское, Корниловское, Чаинское, Тимирязевское, Асиновское, Шегарское.

В четвертой главе «Горимость и восстановление лесного фонда Томской области» приведены результаты анализа горимости на территории региона за период с 2012-2021 гг. Всего за исследуемый период на территории Томской области зарегистрировано 1901 ландшафтный пожар, общая площадь обнаружения составила 26350,43 га, суммарная площадь ликвидации – 341117,74 га. К территориям, наиболее подверженным пожарам относятся непосредственно покрытые лесом (85,5 %) и нелесная (13,3 %). Самое раннее возникновение пожаров зафиксировано 21 марта в 2018 г., а самое позднее – 10 мая 2013 года. Продолжительность «горимых» периодов, то есть период между первым и последним лесным пожаром, в течение пожароопасных сезонов на протяжении 2012–2021 гг. различна и варьирует в широком диапазоне: от 101 дней в 2013 году до 207 дней в 2018 году. Продолжительность горимых периодов по лесничествам представлена в Приложении В. По шкале оценки фактической горимости средняя частота пожаров за исследуемый период составила 6,6 случаев на 1 млн. га лесного фонда в год, что соответствует «ниже средней» степени горимости по количеству пожаров, а площадь, пройденная огнем на 1 тыс. га – 1,2 га, что соответствует «высокой» степени относительной горимости лесов.

Методами статистического анализа проведена проверка зависимости между числом пожаров и общей площадью, пройденной пожарами, коэффициентом корреляции Спирмена установлена достоверная прямая корреляционная связь $r=0,88$ ($p<0,05$); покрытой лесом площадью ликвидации $r=0,86$ ($p<0,05$). Продолжительность фактической горимости не коррелирует с количеством пожаров и общей площадью пожаров. Площадь обнаружения пожаров достоверно коррелирует с общей площадью ликвидации $r>0,9$ ($p<0,05$). Динамику горимости территорий лесничеств иллюстрирует график на рисунке 4. Первый пик пожарной активности за исследуемый период пришелся на 2012 год. Второй пик произошел в 2016 г. 298 пожаров, пришедшихся в основном на Верхнекетское, Улу-Юльское и Тимирязевское лесничества. Следующий пик пришелся на 2019 г., 224 лесных пожара, Верхнекетское, Тимирязевское и Асиновское лесничества. Средняя площадь одного пожара за десятилетний период 178,40 га. По годам эта величина варьируется от 8,02 га (2018 г.) до 562,90 (2012 г.). Максимальная площадь, пройденная лесными пожарами, зафиксирована в 2012 году и составила 297799 га или более 87 % от

пройденной огнем площади за десятилетний период. К причинам сложной пожарной обстановки в 2012 г. (529 пожаров) можно отнести длительное отсутствие осадков, продолжительные высокие температуры воздуха и низкую влажность.

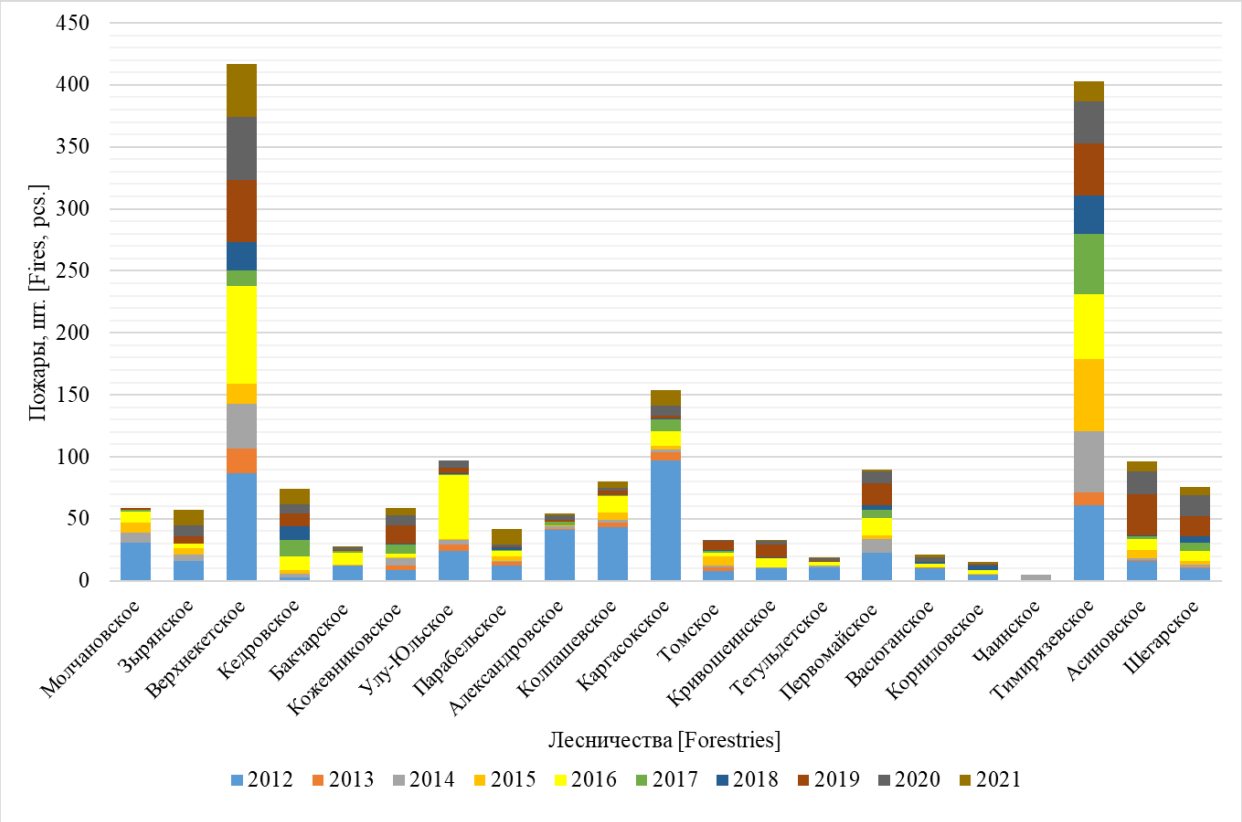


Рисунок 4 – Динамика количества лесных пожаров 2012–2021 гг. по лесничествам Томской области

С целью оценки эффективности обнаружения и ликвидации лесных пожаров проведен сравнительный анализ между показателями площади обнаружения и площади ликвидации пожаров (общей и покрытой лесом), применен критерий Манна-Уитни. Анализ по отдельным лесничествам показал, что за 10-летний период площади обнаружения и ликвидации достоверно ($p \leq 0{,}01$) отличались только в Верхнекетском лесничестве. Аналогичный анализ по годам показал достоверное ($p \leq 0{,}01$) отличие в площадях обнаружения и ликвидации (общей и покрытой лесом) только в 2012 году.

Наибольшая площадь лесных пожаров была подтверждена на территории лесного фонда в Молчановском, Верхнекетском, Александровском, Каргасокском и Васюганском лесничествах, более 10 тыс. га за исследованный период. Обнаружение и ликвидация лесных пожаров на этих территориях может быть затруднительным, в связи с обширной территорией и малонаселенностью районов. Наиболее опасным пожароопасным периодом в южно-таежном равнинном районе, является период с апреля по август, а в средне-таежном районе в основном летний период (рисунок 5).

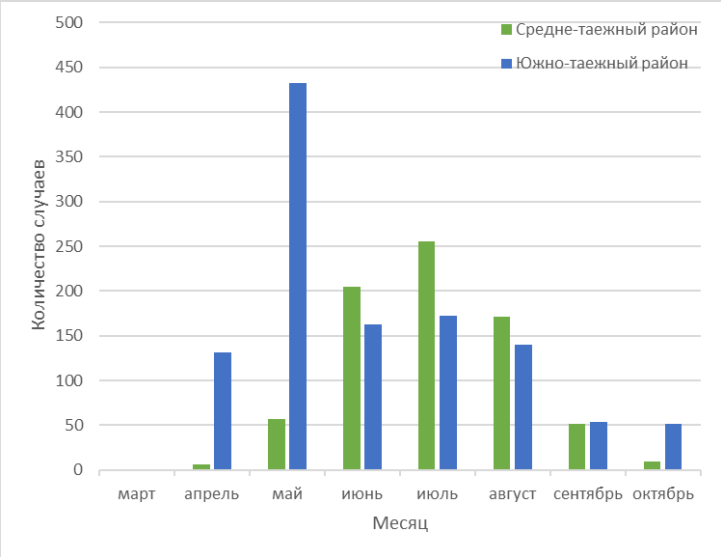


Рисунок 5 – Частота наступления лесных пожаров в течение пожароопасного сезона за период 2012–2021 гг.

В южно-таежном районе вероятность возгорания лесных участков высока уже с первых теплых дней весны, в основном это связано с началом посещения леса местным населением. В средне-таежном районе возникновение пожаров связано с природными причинами и уровнем влажности ЛГМ. Готовность лесного материала к возгоранию происходит здесь к середине лета – в июле-августе, в силу особенностей погодного режима.

По среднему количеству пожаров за исследуемый период достоверного различия между средне-таежным (74,7 ± 24,25) и южно-таежным (115,9 ± 21,38) районами не выявлено (критерий Манна-Уитни $p \leq 0{,}01$).

Более высокий показатель площади обнаружения пожаров свидетельствует о несвоевременном обнаружении пожаров и позволяет оценить эффективность применяемых методов обнаружения.

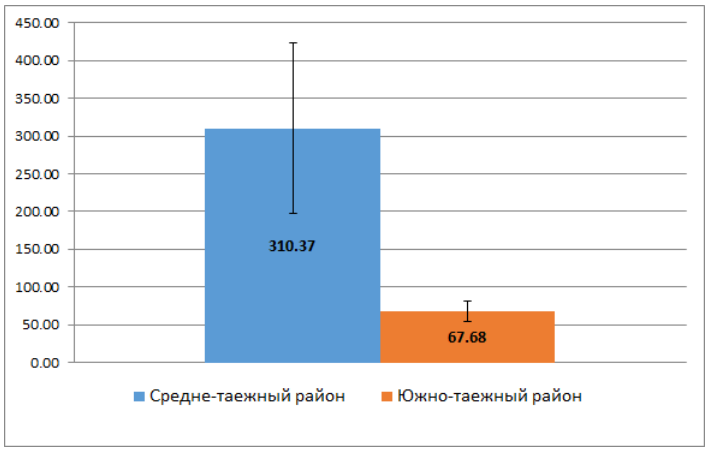


Рисунок 6 – Сравнение средних площадей обнаружения (га) по подзонам тайги за период 2012–2021 гг.

За исследуемый период средняя площадь обнаружения пожаров в средне-таежном районе достоверно выше, чем в южно-таежном районе.

Несвоевременность обнаружения приводит к недостаточному применению сил и средств на начальном этапе тушения, что выражается увеличении площадей, пройденных огнем.

Сравнительный анализ средних площадей обнаружения пожаров в период 2012–2021 гг. показал, что средне-таежный равнинный район характеризуется достоверно более высокими показателями средней площади обнаружения (310,4 ± 112,8 га) и средней площади ликвидации (5542,4 ± 3648,9 га) лесных пожаров. При этом в средне-таежном районе в среднем площадь обнаружения увеличивается в 17,86 раз, а в южно-таежном районе – в 5,91 (рисунок 6). Средняя общая (покрытая лесом, нелесная и непокрытая лесом) площадь ликвидации пожаров за период 2012–2021 гг. также достоверно выше в средне-таежной зоне (рисунок 7).

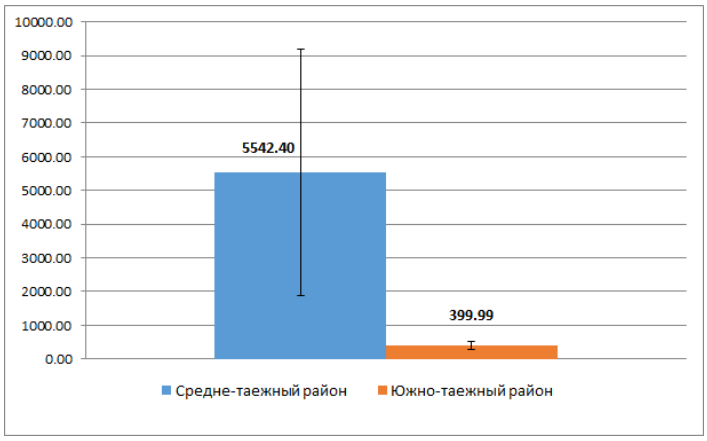


Рисунок 7 – Средняя площадь ликвидации (общая) по районам тайги

Анализ причин возникновения лесных пожаров производился с учетом лесорастительных зон. На территориях, относящихся к Западно-Сибирскому средне-таежному равнинному лесному району Томской области, за период 2012–2021 гг. установлены причины для 738 пожаров, общей площадью обнаружения 16159,38 га. Сельскохозяйственный пал привел всего к 1 пожару площадью 2,5 га. Большее количество площади размером 8389,99 га погорело от 359 пожаров, возникших по причинам, отнесенным к категории «иные» (преимущественно от гроз и линейных объектов). По антропогенным причинам возникли 225 пожаров, охвативших 1519,47 га, чуть меньше, чем площадь пожаров из категории «неустановленные» – 6352,39 га, рисунок 8.

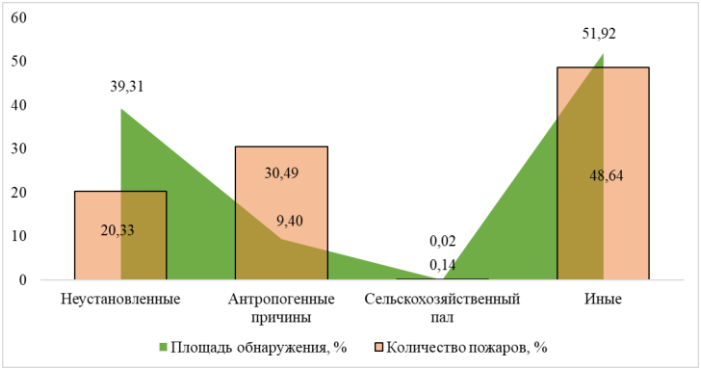


Рисунок 8 – Причины возникновения пожаров на территории подзоны средней тайги в пределах Томской области, 2012–2021 гг.

За период исследования причины установлены для 1901 ландшафтных пожаров, площадью обнаружения 26383,08 га. Наибольшее количество пожаров 50,24 % возникли по антропогенным причинам, 31,51 % пожаров – по иным причинам, 15,68 % пожаров соответствуют категории «Неустановленные причины возникновения», остальное пришлось на сельскохозяйственные палы.

По величине площадей пожары распределены следующим образом: 43,56 % погорели от пожаров из категории «иные причины возникновения», 29,3 % гарей образовались от пожаров причины возникновения, которых точно не установлены, 24 % – от пожаров по вине местного населения, лишь 3,1 % возникли по причине сельскохозяйственные палы. Схожие показатели в установлении причин возникновения пожаров в других регионах России.

На территориях, относящихся к Западно-Сибирскому южно-таежному равнинному лесному району Томской области за период 2012–2021 гг. установлены причины для 1163 пожаров, общей площадью обнаружения 10228,7 га. Большее количество площади размером 4835,98 га погорело от 727 пожаров, возникших по вине местного населения. От 240 пожаров, причины

возникновения которых отнесены к категории «иные», пострадало 3145,09 га (рисунок 9).

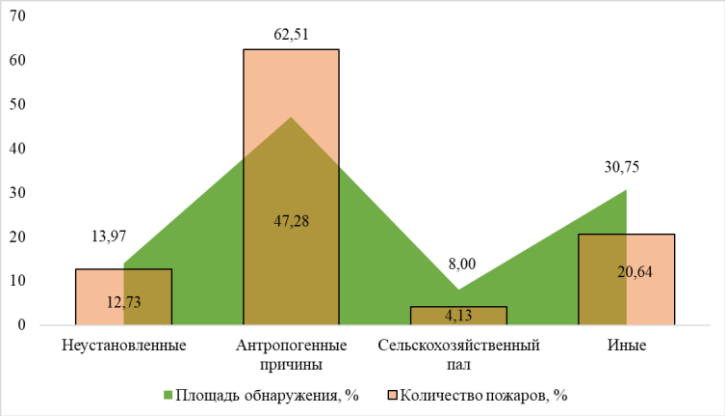


Рисунок 9 – Причины возникновения пожаров на территории подзоны южной тайги в пределах Томской области, 2012–2021 гг.

Зафиксировано, что от сельскохозяйственных палов произошло 48 пожаров на площади 818,4 га, что объяснимо ведением сельскохозяйственной деятельности на данных территориях. Десятилетний мониторинг пожарной ситуации на территории лесничеств Томской области показал, что наиболее проблемным в пожароопасный сезон остается Верхнекетский район. Тимирязевское лесничество также характеризуется сложной пожарной обстановкой. Выявлены различия в соотношениях причин возникновения пожаров для территорий, относящихся к южной тайге, где большинство пожаров возникает по вине местного населения, и средней тайге (преобладают «иные» причины, увеличивается число пожаров от сельскохозяйственных палов). Данный факт подтверждает связь причин возникновения пожаров с характером и силой антропогенной нагрузки на территории.

При анализе лесовосстановительных работ определены площади лесовосстановления, установлен объем и состав пород посадочного материала. За исследуемый период на территории Томской области произведена высадка лесного материала в количестве 30091,79 га: 8878,55 га сосны обыкновенной, 6120,78 га кедра, ели сибирской – 5290,77 га, пихты 9651,21 га, остальное – лиственница, береза, осина. Распределение посадочного материла по лесничествам показано на рисунке 10, по площади искусственного лесовосстановления относительно территории лесничеств – на рисунке 11.

Обнаружена слабая обратная корреляционная связь между количеством посадок за 10-летний период и расстоянием от лесничества до областного центра $r= -0,62$ ($p \leq 0,05$). Наибольший объем лесовосстановительных работ проведен на территории Тегульдетского и Зырянского лесничеств. Следует отметить, что несмотря на преобладание по объему посадочного материла *Abies sibirica*, посадки производились в основном на территории Тегульдетского лесничества, в котором расположен Государственный комплексный (ландшафтный) природный заказник областного значения «Южнотаежный». Заказник располагается в нижнем течении р. Четь (правый приток р. Кия) и представляет собой эталонный участок коренных южнотаежных пихтовых лесов Западной Сибири в пределах сильно заболоченного пойменно-террасового комплекса.

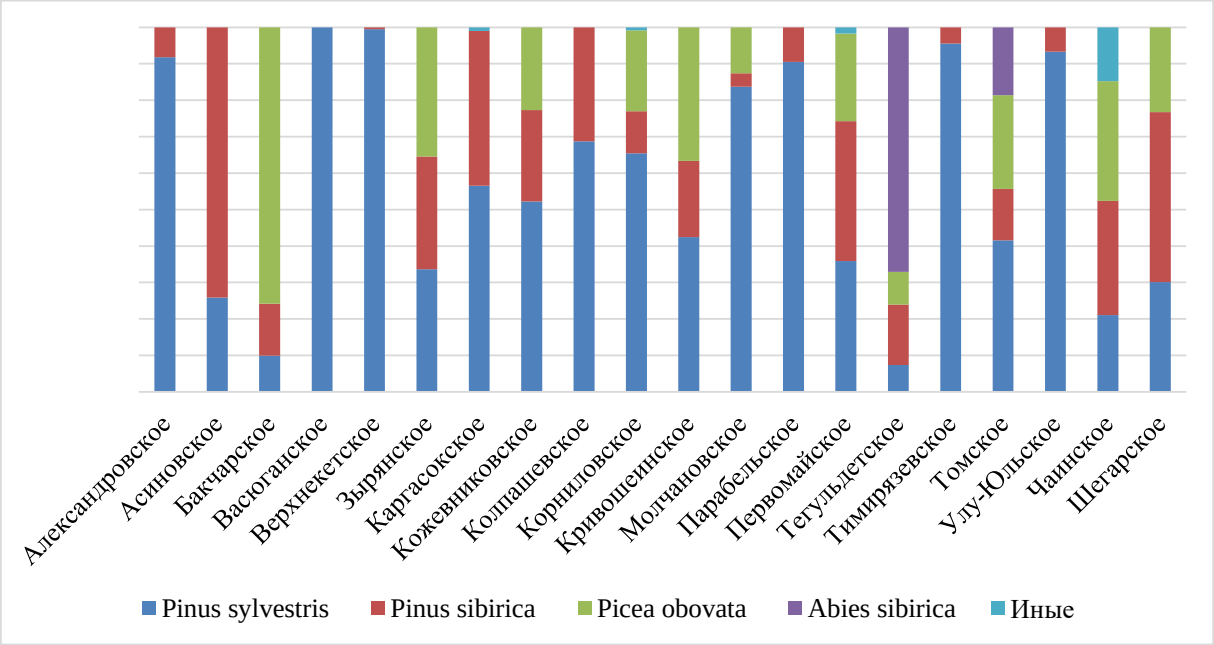


Рисунок 10 – Распределение лесопосадочного материала по породам в лесничествах

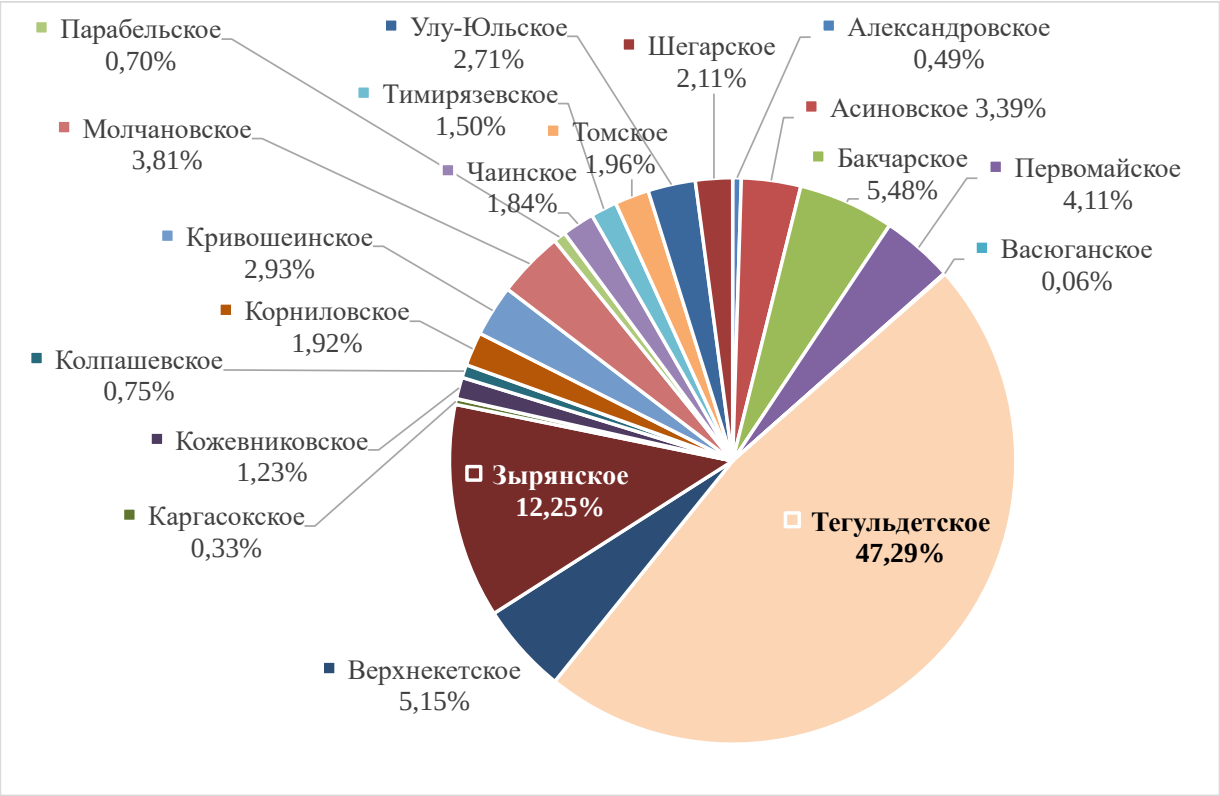


Рисунок 11 – Распределение площадей искусственного лесовосстановления по лесничествам

В пятой главе «Исследование пятнистых пожаров и анализ региональных особенностей охраны лесов» представлены результаты экспериментальных исследований. Для оценки количества, перед началом

эксперимента производилось взвешивание (от 50 до 200 г), а также подсчет (от 98 до 450 ед.) количества частиц перед загрузкой в бункер генератора. Далее происходила генерация «огненного дождя» и падение горящих и тлеющих частиц на поддон, при постоянной съемке с трех камер. В данном случае горизонтальный ветер в зоне падения частиц отсутствовал.

По результатам проведения экспериментов при падении частиц на модельный напочвенный покров и дальнейшее взаимодействие, выявлено три сценария развития:

1) частицы падали в фазе пламенного горения, в результате чего в подавляющем большинстве случаев происходило воспламенение напочвенного покрова;

2) частицы приземлялись в фазе тлеющего горения, вероятность воспламенения напочвенного покрова зависела от аккумуляции частиц, их количества и размеров;

3) частицы после приземления на напочвенный покров переходили из фазы тлеющего горения в фазу пламенного, наблюдался переход горения на напочвенный покров.

Производилась оценка минимальной температуры частиц, имеющих потенциал к зажиганию, а также фиксация количества очагов возгорания, их взаимодействия и развития.

Использование генератора позволило исследовать в полунатурных условиях перенос горящих и тлеющих частиц и условий зажигания ими подстилающей поверхности. Также дополнительно использование бесконтактного метода ИК-диагностики позволило оценить среднюю температуру переносимых частиц, которая составила плюс 570 ^{o}C, а также скорость их перемещения – 3,6 м/с. За 20 экспериментальных пусков на установке, было установлено, что дальность полета частиц коры варьировалась от 2,5 до 5 метров, а веточек от 2,5 до 6 метров, такая разница может быть связана с геометрией самих частиц и распределением масс. При этом температура частиц коры выше, чем веточек, что также может быть связано с геометрией и более пористой структурой.

Одной из важных характеристик горящих частиц, образующихся во время природных пожаров, является дальность переноса, а также их траектории полета. Анализ данных показал, что с увеличением плотности напочвенного покрова вероятность возгорания, тем же количеством частиц уменьшается. Низкая пористость не позволяет частице попасть внутрь слоя, поэтому большая часть энергии уходит на теплообмен с окружающей средой, и лишь небольшая ее часть уходит из зоны локального нагрева в ТСМ. Полученные данные позволяют предположить, что даже 2–3 мелких частицы (площадью более 25 × 25 мм^2 для частиц коры и длиной более 20 мм для веточек) достаточно для воспламенения напочвенного покрова и создания новых очагов горения.

Дополнительные эксперименты по определению воздействия на напочвенный покров частиц веточек сосны обыкновенной, представлял собой слой измельченной коры сосны, хвоя сосны, равномерно разложенный слой ЛГМ на площадке 200х200 мм^2, формирующий реальную подстилающую

поверхность в сосновых лесах. Плотность напочвенного покрова в экспериментах составляла 60 кг/м^3. В качестве имитаторов тлеющих частиц в опытах использовались веточки сосны, диаметром (от 2 до 4 мм, от 4 до 6 мм, от 6 до 8 мм) и длиной 10 мм, 20 мм, 40 мм и 60 мм. Влажность веточек сосны в эксперименте составила – 3,5 % ± 0,2 %, хвои – 9,3 % ± 0,2 %, коры – 9,8 % ± 0,2 %. Серия опытов начиналась с одной тлеющей частицы, затем двух и так по достижении 10 частиц, тем самым имитировалось зажигание напочвенного покрова от одной частицы, до «огненного дождя». После каждого сброса частиц в случае воспламенения напочвенного покрова производилось повторное заполнение площадки горючим материалом. Для каждого эксперимента проводилось по три повторения. Если хотя бы в одном из трех случаев происходило воспламенение, считалось, что напочвенный покров воспламеняется. Для моделирования эффекта воздействия нагретого воздушного потока от фронта лесного пожара тлеющие частицы, сбрасываемые на площадку, обдувались потоком нагретого воздуха со скоростью и температурой, составляющей от 1 до 3 м/с и от плюс 40 ^{o}C до плюс 110 ^{o}C соответственно. Анализ экспериментов показал, что наибольший вклад в распространение пожаров вносят частицы диаметром от 4 до 6 мм и длиной от 20 до 60 мм.

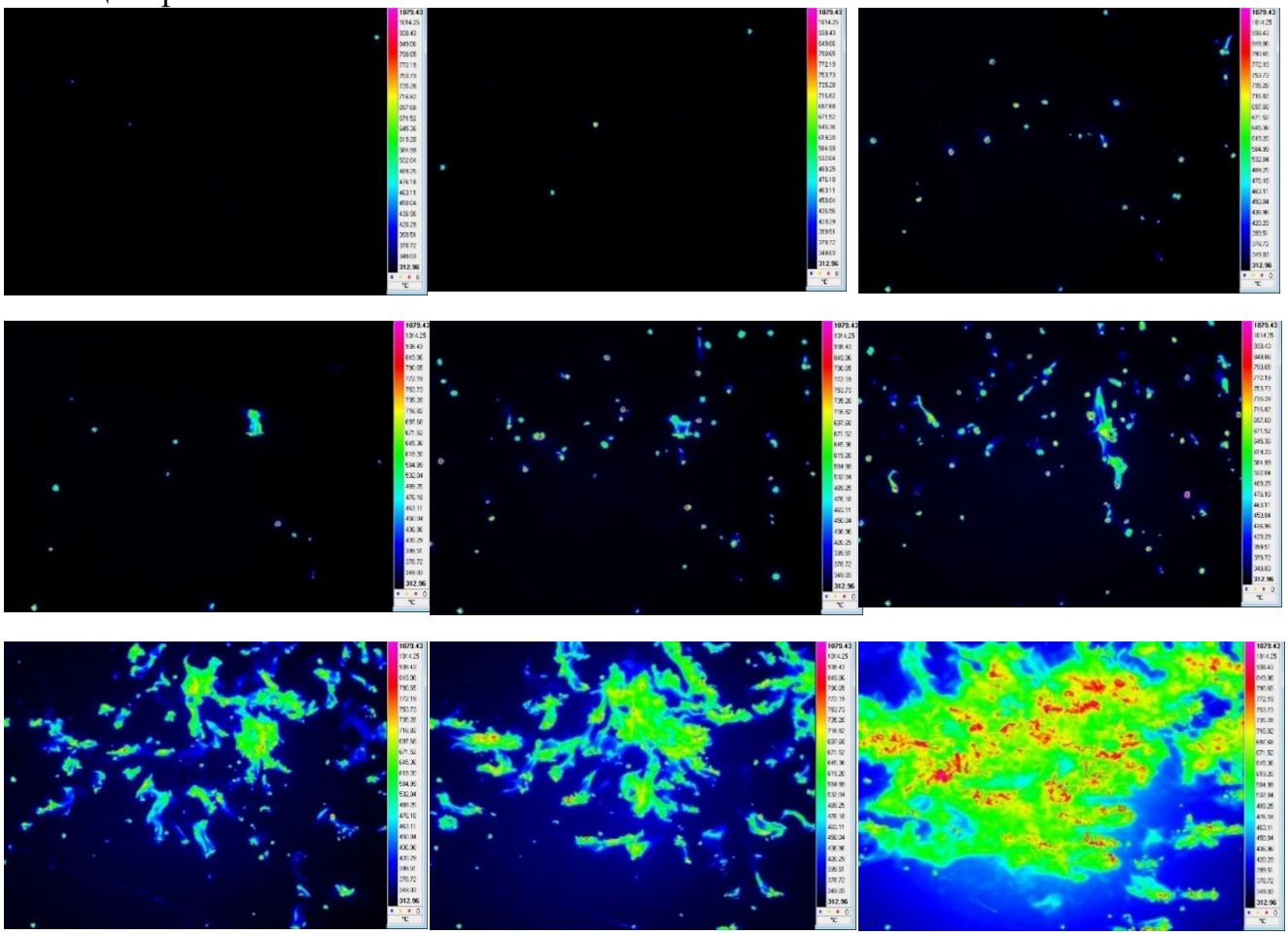
После проведения лабораторных исследований, проведены эксперименты приближенные к натурным на полигоне, на базе экспериментального комплекса Института оптики атмосферы имени В. Е. Зуева СО РАН. Экспериментально доказано, что, воздействие веточек сосны в лабораторных условиях и приближенных к натурным на напочвенный покров имеют идентичные значения: по количеству и размерам частиц, необходимых, для возгорания, времени, и температуры горения. Эксперименты проводились серией из 3 опытов для каждого размера и веса частиц.

Веточки, а также материал для напочвенного покрова (хвоя, кора сосны) предварительно высушивались в сушильном шкафу ШСП 0,5–200 при температуре 373 К в течение 4 часов для достижения оптимальных условий. Влажность веточек составила 3,6 % ± 0,2 %, материала напочвенного покрова 9,5 % ± 0,2 %. Масса веточек измерялась с помощью электронных весов AND HL-400 для трех уровней загрузки по 50 г, 100 г и 200 грамм.

В рабочий бункер установки опускались частицы диаметром от 4 до 6 мм и длиной 20 мм, 40 мм, 60 мм. Время воздействия внутри бункера 1 минута, для каждого размера частиц. Для каждого размера частиц проводились по три опыта для масс по 50 г, 100 г, 200 грамм. На рисунке 12 приведена серия термограмм развития возгорания напочвенного покрова для частиц размером от 4 до 6 мм, длиной 40 мм при загрузке в 50 г, 100 г и 200 грамм.

Анализ термограмм показал, что при загрузке 50 и 100 грамм частиц диаметром от 4 до 6 мм, длиной 20 мм, из рабочей части генератора частицы аккумулировались уже в тлеющем состоянии. При загрузке 200 грамм частиц диаметром от 4 до 6 мм, длиной 20 мм, из рабочей части установки аккумулировались и в тлеющем и пламенном, однако при падении на

напочвенный покров пламя у частиц срывало и воздействие уже происходило в тлеющей фазе.



а) б) в)

а) загрузка 50 г; б) загрузка 100 г; в) загрузка 200 г

Рисунок 12 – Термограммы развития возгорания напочвенного покрова веточками сосны обыкновенной диаметром от 4 до 6 мм, длиной 40 мм

При загрузке 50 г, 100 г, 200 г частиц диаметром от 4 до 6 мм, длиной 40 мм, а также длиной 60 мм, наблюдалось преимущественно пламенное горение, что способствовало, даже малому количеству частиц произвести возгорание напочвенного покрова. Температура частиц при этом варьировалась в диапазоне положительных температур от плюс 550 ^{o}C до плюс 670 ^{o}C. При загрузке 100 г и 200 г частиц диаметром от 4 до 6 мм, длиной 60 мм, наблюдалось пламенное горение частиц, с последующим затуханием в воздухе, это связано с размерами частиц и временем воздействия в бункере генератора, для всех экспериментов было выбрано время воздействия 60 секунд. При увеличении времени воздействия, частицы теряли свою целостность и, по сути, из рабочей части установки аккумулировали частицы диаметром от 4 до 6 мм, длиной 40 мм. В результате проведенных экспериментов можно сделать вывод, что с увеличением количества частиц и размеров наблюдается увеличение вероятности и скорости воспламенения напочвенного покрова. Это объясняется увеличением массы образцов и, соответственно, увеличением запасенного

количества тепла. Исследования по воздействию горящих и тлеющих частиц на напочвенный покров подтверждают свой вклад в распространении пожаров особенно при отсутствии или нарушении мер противопожарной безопасности, при скоплении лесного горючего материала в лесах: при завалах, не своевременно убранных порубочных остатков и захламленности.

Поэтому с целью противопожарной безопасности, следует особое внимание уделять расчистке лесов, проектированию и созданию новых минерализованных полос, которые направлены на очищение слоя почвы от лесных горючих материалов. При анализе мероприятий, направленных на профилактику возникновения пожаров в лесу, показывает, что устройство минерализованных полос является одним из основных мероприятий, проектируемых при противопожарном обустройстве лесов (таблица 2).

Таблица 2 – Мероприятия по предупреждению лесных пожаров Томской области за 2018–2027 гг.

Наименование мероприятий	Ед. изм.	Количество
Строительство лесных дорог, предназначенных для охраны лесов от пожаров	км	73
Реконструкция и эксплуатация лесных дорог, предназначенных для охраны лесов от пожаров	км	3380
Устройство противопожарных разрывов	км	100
Уход за противопожарными разрывами	км	90
Устройство минерализованных полос	км	6583
Уход за минерализованными полосами	км	6583
Контролируемое выжигание сухих горючих материалов	га	8938

При создании и уходе за противопожарными разрывами в лесах Томской области применяются кусторезы или бульдозеры. Кусторез Д 174-А, способен расчистить территорию с крупным кустарником, пнями и мелкими деревьями с диаметром до 12 см. При этом производительность кустореза с бригадой в 5 человек – около 2 га за смену.

С помощью бульдозера также производится расчистка территории от кустарника и мелких деревьев, одновременно со всем растительным слоем почвы. Бульдозером способен корчевать пни диаметром до 30 см, а ширина захватываемой отвалом полосы достигает 360 см. При создании противопожарных полос, наиболее распространенным является плуг ПКЛ-70. В результате его работы образуется борозда шириной 70 см, на бока которой ложится дернина. При этом общая ширина, достигаемая воздействием плуга, составляется 140 см. Также активно применяются ручные орудия (лопаты, мотыги, грабли), как правило, для устранения огрехов в процессе прохождения тракторных почвообрабатывающих орудий. Применение ручных орудий допустимо в местах, где невозможно применение тракторных.

Таким образом, для обеспечения требуемого уровня противопожарной безопасности и предотвращения распространения огня, необходимо улучшать

устройство противопожарных полос и уход за ними; территорий, отведенные под лесозаготовку или под строительство линейных объектов своевременно расчищать от захламленности порубочными остатками и усиливать контроль за исполнением этих обязательств; использование оперативных метеорических данных для отслеживания состояния лесного горючего материала; увеличивать территории отведенные под искусственное лесовосстановление, так как это способствует уменьшению лесного горючего материала.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенные в данной работе обобщение данных многолетнего мониторинга лесных пожаров, деградации и воспроизводства лесов на территории Томской области, изучение особенностей противопожарной охраны и защиты лесов в регионе, получение собственных экспериментальных данных о возникновении очагов пятнистых пожаров позволили сформулировать следующие выводы:

1. В период с 2012 по 2021 гг. на территории Томской области зарегистрирован 1901 ландшафтный пожар, общая площадь обнаружения 26350,43 га, суммарная площадь ликвидации составила 341117,74 га. К наиболее подверженным пожарам территориям относятся непосредственно покрытые лесом – 85,5 % и нелесная – 13,3 %. По шкале оценки фактической горимости средняя частота пожаров за исследуемый период составила 6,6 случаев на 1 млн. га лесного фонда в год, что соответствует «ниже средней» степени горимости по количеству пожаров, а площадь, пройденная огнем на 1 тыс. га – 1,2 га, что соответствует «высокой» степени относительной горимости лесов.

2. Антропогенный фактов является приоритетной причиной возникновения лесных пожаров 50,3 %, еще треть – 31,5 % пожаров возникли по иным причинам.

3. Территория области, относящаяся к средне-таежному равнинному району, характеризуется достоверно более высокими показателями средней площади обнаружения (310,4 ± 112,8 га) и средней площади ликвидации (5542,4 ± 3648,9 га) пожаров за период 2012–2021 гг. в сравнении с южно-таежном районом, что свидетельствует о пирологической неоднородности лесорастительных зон области.

4. В период с 2012 по 2021 гг. на территории Томской области произведена высадка лесного материала в количестве 30091,79 га. Искусственное лесовосстановление сосредоточено на территории Тегульдетского и Зырянского лесничеств. В качестве лесного посадочного материала используют преимущественно *Pinus sylvestris* и *Abies sibirica*.

5. Применение разработанной установки позволяет генерировать поток натуральных частиц, образующихся в результате сгорания лесного горючего материала, и экспериментально изучать количественные характеристики и процесс переноса разбрасываемых пожаром частиц, воспроизводить воздействие горящих и тлеющих частиц на напочвенный покров.

6. В эксперименте по воздействию на напочвенный покров горящих и тлеющих частиц *Pinus sylvestris*, образующихся в генераторе, установлено, что источником образования новых очагов пожара являются горящие и тлеющие частицы диаметром от 4 до 6 мм и длиной от 20 до 60 мм, со средней дальностью разлета равной 3,1 ± 0,2 м.

Принимая во внимание региональные особенности противопожарной охраны и защиты лесного фонда и собственные данные сформулирована практическая рекомендация увеличить минимально допустимую ширину минерализованных полос до 3,1 ± 0,2 м, что равно средней дальностью разлета горящих и тлеющих частиц в эксперименте с применением устройства генерации горящих и тлеющих частиц. Перспективным видится направление работы, связанное с разработкой программного комплекса с применением методов машинного обучения, который позволит обнаруживать, идентифицировать и отслеживать, образующиеся в результате природных пожаров горящие и тлеющие частицы.

Благодарности. Выражаю благодарность научному руководителю доктору биологических наук, доценту Данилу Сергеевичу Воробьеву, кандидату физико-математических наук, доценту Денису Петровичу Касымову, коллективу кафедры лесного хозяйства и ландшафтного строительства Томского государственного университета, а также коллективу Департамента лесного хозяйства Томской области за консультации, за содействие в организации исследования при подготовке и написании диссертации.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 20-34-90078.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах, включенных в Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук:

1. **Перминов В. В.** Технологии предотвращения и тушения природных пожаров в России и мире: динамика патентной активности, патентологические перспективы / В. В. Перминов, Д. С. Воробьев, Д. П. Касымов, В. В. Перминова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2022. – Т. 30, № 3. – С. 227–239. – DOI: 10.22363/2313-2310-2022-30-3-227-239. – 0,78 / 0,19 а.л.

2. **Перминов В. В.** Нефтегазовые районы таежной зоны Западной Сибири: мониторинг горимости лесов и современное состояние охраны лесов от пожаров / В. В. Перминов, Д. П. Касымов // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2022. – № 6 (309). – С. 57–62. – DOI: 10.33285/2411-7013-2022-6(309)-57-62. – 0,54 / 0,27 а.л.

3. **Perminov V. V**. Analysis of the Fire Frequency of the Southern Taiga Region of the Tomsk Oblast on the Example of Three Forestries / V. V. Perminov, D. P. Kasymov // Acta Biologica Sibirica. – 2022. – Vol. 8. – P. 419–429. – DOI: 10.5281/zenodo.7710345. – 0,54 / 0,27 а.л. (*Scopus*).

Патент Российской Федерации:

4. Патент 183063 Российская Федерация, МПК F24B 1/00 (2006.01). Генератор горящих и тлеющих частиц / Касымов Д. П. (RU), **Перминов В. В.** (KZ), Фильков А. И. (RU), Агафонцев М. В. (RU), Рейно В. В. (RU), Гордеев Е. В. (KZ); патентообладатель патентообладатель: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский Томский государственный университет» (ТГУ, НИ ТГУ) (RU). – № 2017145135, заявл. 21.12.2017, опубл. 07.09.2018, Бюл. № 25 – 8 с.

Публикации в прочих научных изданиях:

5. **Перминов В. В.** Роль горящих и тлеющих частиц в распространении низовых лесных пожаров / В. В. Перминов, Д. П. Касымов // Ресурсоэффективные системы в управлении и контроле: взгляд в будущее : сборник научных трудов IX Международной конференции школьников, студентов, аспирантов и молодых ученых. Томск, 11–13 ноября 2020 г. – Томск, 2020. – С. 113–114. – 0,08 / 0,04 а.л.

6. **Перминов В. В.** Роль горящих и тлеющих частиц в распространении лесных пожаров / В. В. Перминов // Ломоносов-2021 : материалы международного молодежного научного форума. Москва, 12–23 апреля 2021 г.– Москва, 2021. – 1 с. – URL: https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2021/data/21887/130911_uid508304_report.pdf (дата обращения: 12.05.2023). – 0,06 а.л.

7. **Перминов В. В.** Применение генератора горящих и тлеющих частиц в исследовании природных и техногенных пожаров / В. В. Перминов, Д. П. Касымов, М. В. Агафонцев // Сопряженные задачи механики реагирующих сред, информатики и экологии : материалы XXII Всероссийской научной конференции с международным участием, посвященной 100-летию со дня рождения академика Н. Н. Яненко. Томск, 12–14 октября 2021 г. – Томск, 2021. – С. 91–93.– 0,25 / 0,08 а.л.

8. **Перминов В. В.** Анализ горимости территории лесничеств южной и юго-западной частей Томской области / В. В. Перминов // Сейфуллинские чтения – 18: «Молодежь и наука – взгляд в будущее» : материалы международной научно-практической конференции. Нур-Султан, 12 апреля 2022 г. – Нур-Султан, 2022. – Т. I, ч. VI. – С. 85–87. – 0,15 а.л.

9. **Перминов В. В.** Природные пожары России: актуальные данные о патентной активности, патентологические перспективы / В. В. Перминов // Ломоносов-2022 : материалы международного молодежного научного форума. Москва, 12–22 апреля 2022 г. – Москва, 2022. – 1 с. – URL: https://lomonosov-msu.ru/archive/Lomonosov_2022/ data/25897/146627_uid508304_report.pdf (дата обращения: 12.05.2023). – 0,07 а.л.

Издание подготовлено в авторской редакции.
Отпечатано на участке цифровой печати
Издательства Томского государственного университета
Заказ № 7545 от «29» августа 2023 г. Тираж 100 экз.
г. Томск Московский тр.8, тел. 53-15-28, publish.tsu.ru