

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет
имени Н.И. Вавилова»

На правах рукописи

Ивченко Ольга Александровна

**ПРИМЕНЕНИЕ ГИДРОГЕЛЕЙ ДЛЯ БОРЬБЫ С ЛЕСНЫМИ
НИЗОВЫМИ ПОЖАРАМИ
(на материалах Саратовской области)**

06.03.03 - Агролесомелиорация, защитное лесоразведение и озеленение
населенных пунктов, лесные пожары и борьба с ними

Диссертация
на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:

кандидат химических наук, доцент

К.Е. Панкин

Саратов 2021

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	4
1 СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ БОРЬБЫ С ЛЕСНЫМИ ПОЖАРАМИ (Саратовская область)	11
1.1. Проблема лесных пожаров и борьба с ними.....	11
1.2. Географические, климатические и биологические особенности Саратовской области, способствующие возникновению и развитию лесных пожаров.....	15
1.3. Условия возникновения и распространения лесных пожаров и моделирование сценариев их развития	28
1.4. Профилактика, обнаружение и тушение лесных пожаров	37
1.5. Последствия лесных пожаров и их влияние на лесовосстановление и лесохозяйственную деятельность	48
1.6. Устойчивость лесов к пожарам	50
Выводы	52
2 МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГNETУШАЩЕГО И ОГНЕЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ...	54
2.1 Исследование метеоусловий для проведения лабораторных и полевых экспериментов	54
2.2 Методика исследования запасов природных горючих материалов и видового состава растительности на экспериментальных участках.....	55
2.3 Выбор огнетушащих и огнезащитных составов и методика приготовления растворов при проведении лабораторных и полевых экспериментов.....	56
2.4 Исследование устойчивости гидрогелей во времени для обеспечения мероприятий по противопожарной защите природных ландшафтов и тушению низовых пожаров	60
2.5 Методика исследования эффективности действия огнетушащего вещества в лабораторных условиях	62
2.6 Методика исследования эффективности действия огнетушащего вещества в полевых условиях	64
2.7 Методика исследования действия огнезащитных составов на пожароопасные свойства растительных материалов в лабораторных условиях	68
2.8 Методика исследования действия огнезащитных составов на пожароопасные свойства растительных материалов в полевых условиях	71
2.9 Методика исследования огнестойкости лесных горючих материалов в полевых условиях	75

2.10	Методика технико-экономического обоснования построения минерализованных и огнезащитных полос	76
3	МОНИТОРИНГ ОБСТАНОВКИ С ЛЕСНЫМИ ПОЖАРАМИ. ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОЖАРОВ С ПОГОДНЫМИ УСЛОВИЯМИ	86
3.1.	Сбор и анализ статистических данных по пожарам в лесничествах Саратовской области.....	86
3.2.	Исследование взаимосвязи метеоусловий с возникновением пожароопасной обстановки	96
	Выводы.....	100
4	РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТУШЕНИЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА, А ТАКЖЕ ЕГО ТУШЕНИЯ НА ЛЮБОЙ СТАДИИ РАЗВИТИЯ	102
4.1.	Исследование метеоусловий экспериментального района	102
4.2.	Исследование участков местности, почвы, травяного покрова и запасов лесных горючих материалов на них.....	103
4.3.	Результаты лабораторных исследований огнетушащей способности гидрогелей.....	107
4.4.	Результаты лабораторных исследований огнезащитных свойств химических составов.....	111
4.5.	Результаты полевых исследований огнетушащих свойств исследуемых составов.....	116
4.6	Результаты полевых исследований огнезадерживающих свойств химических составов.....	124
	Выводы	146
5	ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ПОЛОСЫ	149
5.1.	Экономическая эффективность построения минерализованной полосы.....	151
5.2.	Экономическая оценка эффективности построения огнезащитной полосы.....	158
	Выводы	164
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	165
	СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	169
	ПРИЛОЖЕНИЯ А, Б	191

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность исследования.

Борьба с лесными пожарами является важной народнохозяйственной задачей, т.к. лесные массивы и лесонасаждения играют важную роль в функционировании лесного хозяйства с получением товарных древесных и недревесных продуктов леса. Лесные массивы также осуществляют экологическую функцию по фиксации атмосферного углерода, повышению влажности воздуха, смягчению климата и т.п. Защитные лесонасаждения выполняют функции по снегозадержанию, защиты от суховеев, помогают бороться с эрозионными процессами на объектах сельского хозяйства.

Количество лесных пожаров и ущерб от них в последние десятилетия только возрастает. Определенный вклад в это дает изменение климата в сторону потепления: повышение среднегодовых температур, повышение максимальной температуры теплого сезона, перераспределение осадков с их уменьшением в теплый период и т.п. Пожароопасный период на территории Саратовской области длится шесть месяцев с апреля по октябрь. Статистика лесных пожаров с 2016 по 2020 годы показывает устойчивый рост числа пожаров: в 2014 году количество пожаров составило 14 на площади 111,1 га; в 2015 году - 95 на 535,9 га; в 2016 г. - 10 на 19,7 га; в 2017 г. - 33 на 543,8 га; в 2018 г. - 94 на 1409,2 га, в 2019 г. - 50 на 214,7 га, в 2020 г - 135 на 276,8 га [приложения А, Б].

Статистические данные по ущербу от лесных пожаров, нанесенному лесному хозяйству в Саратовской области и затратам на тушение лесных пожаров представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Статистические данные по ущербу и затратам на тушение лесных пожаров в Саратовской области 2014-2020 гг.

Год	Ущерб от лесных пожаров, тыс. руб.	Затраты на тушение, тыс. руб.
2014	47106,09	582,06
2015	3968,07	253,27
2016	245,01	144,09
2017	39238,17	805,10
2018	173,53	18,21
2019	534,01	590,05
2020	8708,12	880,41

Поэтому профилактика и тушение лесных пожаров являются важными составляющими деятельности лесного хозяйства, а указанные данные в таблице №1 обуславливают актуальность проводимого исследования для разработки эффективных способов борьбы с возникновением и распространением лесных пожаров. Одним из критериев эффективности противопожарных мероприятий, является повышение огнезащитной и огнетушащей способности применяемых составов. Поэтому целью данной работы явилось разработка технологии профилактики и тушения лесных пожаров с применением гидрогеля алюминия.

Степень научной разработанности темы. Развитием тематики борьбы с лесными пожарами занимались такие ученые, как И.М. Абдурагимов (2011, 2012.), Е.С. Арцыбашев (2014, 2015, 2018), Г.Д. Главацкий (2001,2002), В.Д. Захматов (2012, 2013, 2015). Прогнозирование возникновения и сценарии развития лесных пожаров осуществлялись такими учеными как Г.В. Соколова (1993), С.М. Матвеев (2002), В.В. Чеботарев (2002), А.В. Волокитина (2006), М.А. Софронов (2006), Н.В. Зукерт (2011), Г.А. Доррер (2011, 2012, 2017), В.С. Коморовский (2011), А.И. Березовский (2012) , Ю.Ф. Сосновчик (2016), А.В. Волокитина (2020). Оценку запасов углерода и лесных горючих материалов, пожарной опасности в лесу проводили А.С. Исаев (2001), Д.Г. Замолодчиков (2001, 2012, 2013), В.И. Грабовский (2012, 2013), Шуляк П.П. (2013), А.З. Швиденко (2013, 2014), В.С. Коморовский (2015), П.В. Михайлов (2015), С.В. Залесов (2016). Вопросами условий протекания лесных пожаров, факторами, способствующими и препятствующими развитию

лесных пожаров занимались И.С. Мелехов (1965), Н.П. Курбатский (1964), А.З. Швиденко (2013), П.А. Цветков (2013, 2014, 2019), Н.Д. Гуцев (2015), А.В. Селиховкин (2016), Б.Г. Поповичев (2016), Е.П. Белоусова (2016), И.В. Латышева (2016). Способами создания эффективных противопожарных барьеров и тушением пожаров были посвящены работы таких ученых как Г.Д. Главацкий (2001, 2002), В.М. Груманс (2001, 2002), С.В. Залесов (2014, 2015, 2016, 2018), В.Г. Гусев (2011, 2015, 2016, 2017), Н.Д. Гуцев (2013, 2015, 2016, 2017), Е.С. Арцыбашев (2015, 2018), А.М. Ерицов (2015, 2016), Н.В. Михайлова (2015, 2016), Г.Н. Куприн (2016). Последствиям лесных пожаров и их влиянию на процессы лесовосстановления посвятили свои труды С.Э. Вомперский (2007), М.В. Смагина (2007), К.К. Калинин (2010), Г.И. Клобуков (2010), К.В. Дорохов (2014), В.П. Шелухо (2014), С.А. Денисов (2015, 2017), М.А. Козаченко (2015, 2019), Н.М. Дебков (2018), А.С. Ильинцев (2018), Н.М. Ковалева (2018), С.В. Залесов (2019).

Цель исследования – разработка технологии применения гидрогеля алюминия для обеспечения эффективной борьбы с возникновением и развитием лесных низовых пожаров.

Задачи исследования:

1) провести анализ природно- климатических условий с возникновением и развитием лесных пожаров в Саратовской области;

2) провести исследования по выявлению огнетушащих и огнезадерживающих свойств гидрогелей алюминия и влияние их применения на распространение лесного низового пожара;

3) разработать технологию и технологические параметры применения гидрогеля алюминия для тушения лесных низовых пожаров в лесных массивах и лесосаждениях;

4) разработать математическую модель переноса горящих частиц, для определения дальности их переноса ветром и выявление оптимальных геометрических параметров огнезащитных барьеров;

5) определить экономическую эффективность использования гидрогеля алюминия для профилактики и тушения лесных низовых пожаров в сравнении с существующими технологиями и техническими приемами.

Объект исследования: пожарная опасность лесных массивов.

Предмет исследования: огнезадерживающая и огнетушащая способность гидрогеля алюминия на процесс тушения лесных пожаров

Научная новизна исследования заключается в следующем:

1) установлена взаимосвязь между погодными условиями, числом лесных пожаров и ущербом от них в Саратовской области;

2) определены минимальные требования к геометрическим параметрам противопожарных барьеров, способных эффективно бороться с распространением лесных низовых пожаров;

3) экспериментально установлены оптимальные технологические условия применения гидрогеля алюминия для профилактики и тушения лесных низовых пожаров;

4) разработана технология применения гидрогеля алюминия для борьбы с лесными низовыми пожарами.

Теоретическая и практическая значимость исследования.

Теоретическая значимость исследования заключается в установлении взаимосвязи между погодными условиями и возникновением лесных низовых пожаров. Разработана математическая модель условий преодолимости противопожарных барьеров частицами лесных горючих материалов, переносимых ветром с конвективными потоками и разработаны критерии ограничения их распространения.

Практическая значимость работы заключается в получении положительных результатов лабораторных и полевых испытаний огнетушащих и огнезащитных свойств гидрогелей алюминия и их воздействие на процесс горения во фронте лесного низового пожара. Предложен способ тушения пожара с применением гидрогеля алюминия (патент на изобретение №2614963 от 31.03.2017), а также метод обработки напочвенного травяного покрова

гидрогелями алюминия с целью понижения их пожароопасных свойств для профилактики возникновения и распространения низового пожара. Результаты исследования используются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» по специальности 20.05.01 «Пожарная безопасность» при изучении дисциплин: «Физико-химические основы развития и тушения пожара», «Физико-химические основы возникновения горения, взрыва и тушения пожара», «Противопожарное обустройство территорий». Результаты исследований внедрены в деятельность службы по обеспечению противопожарной защиты с. Мироновка Питерского района Саратовской области и лесничеств Левобережной части Саратовской области.

Методология и методы исследования. Для проведения моделирования пожароопасной обстановки применялись математические и физические модели поведения горячей частицы под влиянием скорости ветра и высоты выпадения из конвективного потока. Экспериментальную основу исследований составляли лабораторные исследования и полевые испытания огнетушащих и огнезащитных свойств гидрогелей алюминия и влиянием на их свойства на динамику фронта лесного низового пожара при различных внутренних и внешних условиях (концентрации, плотности напочвенного травостоя, скорости ветра). При лабораторных исследованиях огнетушащей способности применялись стандартные методики тушения пожара, а полевая методика разработана на основе анализа литературных источников. Полученные экспериментальные данные обрабатывались с применением стандартных методик математической обработки результатов.

Положения, выносимые на защиту:

- 1) Обоснование взаимосвязи погодных условий с возникновением лесных пожаров.
- 2) Математическая модель огнезадерживающей способности противопожарного барьера непреодолимого для лесного низового пожара.

3) Технологические показатели, отвечающие оптимальному применению гидрогелей алюминия для создания противопожарных барьеров – огнезащитных полос для сдерживания распространения кромки лесного низового пожара,

4) Методика применения гидрогелей алюминия для тушения лесных низовых пожаров.

5) Оценка экономической эффективности использования гидрогеля алюминия для профилактики и тушения лесных низовых пожаров.

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность лабораторно-полевых исследований подтверждается большим объёмом экспериментальных данных огнетушащих свойств гидрогелей алюминия и огнезадерживающих свойств противопожарных барьеров на его основе. При сборе и обработке данных осуществлялся анализ результатов, полученных при использовании госстандартов, общепринятых методик, а также апробация результатов исследования.

Материалы диссертационной работы изложены на международных, национальных и всероссийских конференциях: II Международной научно-практической конференции «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях» (Саратов, 2015); IV Всероссийской научно-практической конференции «Техногенная и природная безопасность-2017» (Саратов, 2017)», IV Национальная научно-практическая конференция «Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях» (Саратов, 2018); V Международная научно-практическая конференция «Техногенная и природная безопасность-2019» (Саратов, 2019); I Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы пожарной безопасности: теория и практика (FIRESAFETY 2019)» (Уфа, 2019), IV Национальной научно-практической конференции «Актуальные научно-технические средства и сельскохозяйственные проблемы» (Кемерово, 2020), а также на ежегодной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ с 2014 по 2021 годы.

Публикации. По результатам исследования опубликовано 15 печатных работ, 3 из них – в изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ, и две статьи в международных журналах Scopus и WOS, общим объемом 5,06 п.ч., в т. ч. авторских 2,3. Получен один патент РФ на изобретение.

Структура и объём диссертации. Диссертационная работа изложена на 192 страницах и включает 2 страницы приложений, 40 таблиц и 43 рисунка. Список литературы представлен 193 наименованиями, из них 17 на иностранных языках.

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ БОРЬБЫ С ЛЕСНЫМИ ПОЖАРАМИ (Саратовская область)

1.1 Проблема лесных пожаров и борьба с ними

Лесные пожары были, есть и будут покуда существуют лесные массивы – гигантские запасы углерода, находящиеся в составе разнообразных горючих веществ, главным образом, целлюлозы и лигнина – природных полимеров из которых построены как древовидные, так и травянистые растительные организмы. Лесной массив представляет собой биогеоценоз, в котором сформированы и самосогласованы процессы взаимодействия живых организмов (растительных и животных) между собой и с абиотическими факторами окружающей среды: солнечным излучением, атмосферой, почвой. В своем развитии лесной массив проходит несколько стадий: интенсивный рост молодняка, становление леса (смыкание крон деревьев), зрелость леса (достижение древовидными растениями своих максимальных размеров), старение леса (перестой древесины, увеличение числа растений пораженных болезнями и насекомыми вредителями), гибель леса (массовое возникновение сухостоя, валежа и т.п.). Понятно, что одновременно вырасти и погибнуть все слагающие лесной массив растения не могут – этот процесс постепенный. Лесам присуще старение, которое сопровождается накоплением в них лесных горючих материалов (ЛГМ) доступных для горения и формирования лесного пожара.

Согласно статистике Российская Федерация (РФ) располагает громадными запасами лесов – 8,09 млн. км², Саратовская область располагает 7,353 тыс. км² [121,124], что составляет $\approx 7\%$ ее территории. Ежегодно в РФ происходит 10-35 тыс. лесных пожаров, охватывающих площади от 500 тыс. до 3,5 млн га.

Согласно данным МЧС России и Рослесхоза [113], всего с 1992 года по 2018 год в России зарегистрировано порядка 635 тыс. лесных пожаров. В среднем размер ущерба от лесных пожаров в год составляет порядка 20 млрд. рублей, из них от 3 до 7 млрд. рублей - ущерб лесному хозяйству (потери товарной древесины). Остальные потери - расходы на тушение и последующую расчистку горелых площадей, ущерб от гибели животных, загрязнения продуктами горения, затраты на восстановление леса и т. д. [104, 105]. В 2020 году – площадь, пройденная лесными пожарами, составила 9,3 млн. га [106, 107], в 2019 году – 16,5 млн. га, общая площадь лесных пожаров в России за первые четыре месяца 2020 года превысила отметку в 4 млн га. Понятно, что год на год не приходится, существуют периоды относительной спокойной природной пожарной обстановки, так в 2016 году в Саратовской области на 22% было меньше лесных пожаров по сравнению с 2010 годом. Бывают годы «серьезного разгула» огненной стихии 2010 год – пожарами была охвачена Европейская часть Российской Федерации, 2019 – массовые лесные пожары в Сибири и в Калифорнии (США), в 2020 году крупные лесные пожары в Австралии, 2021 год – пожары в Сибири, Турции, Греции и т.п.

Вовлечение лесного массива в активную деятельность человека с получением товарных продуктов леса, а также с целью рекреации сформировала двоякую ситуацию. С одной стороны лес как материальная ценность был подвергнут противопожарной защите, с другой сама деятельность человека в лесных массивах приводит к возникновению лесных пожаров. Статистика второй половины XX и начала XXI веков свидетельствует о том, что частота и сила проявления лесных пожаров возрастает [69, 172]. Причем такая ситуация складывается во всех странах богатых лесами. Причина этого кроется в самом характере человеческой деятельности в лесных массивах. Поставив лесной пожар вне закона, человек способствует накоплению ЛГМ на территории лесного массива. Потребность современной промышленности в древесине снижается, в связи с широким применением в строительстве пластических масс, кирпича, бетона и т.п., а также с внедрением рациональных, низкоотходных технологий

переработки древесины. Сложение трех условий: (1) критической массы ЛГМ; (2) погодных условий; (3) источника зажигания – приводит к лесному пожару.

В зависимости от вида горящего материала лесной пожар может быть верховым и низовым [3, 74]. Верховой пожар выжигает кроны деревьев, как бы перескакивая с кроны на крону. Низовые пожары распространяются по нижнему ярусу леса и выжигают ЛГМ находящиеся у подножий деревьев: лесную подстилку, лесной опад, травяной надпочвенный покров, кустарники, подрост и т.п. [91]. В зависимости от степени выжигания ЛГМ низовые пожары бывают беглыми и устойчивыми: при беглом низовом пожаре горит верхняя часть напочвенного покрова, подрост и подлесок. Такой пожар распространяется с довольно быстро (скорость более 0,5 м/мин), обходя места с повышенной влажностью, поэтому часть лесного массива остается незатронутой огнем. Устойчивый пожар более медленный, так как развивается при низкой скорости ветра, но приводит к выгоранию всего объема ЛГМ на поверхности почвы и, нередко к повреждению самого почвенного покрова [3].

Борьба с лесными пожарами. Комплекс мероприятий, направленный на предотвращение лесного пожара, ограничение его распространение и его тушение называется *борьбой с лесными пожарами* [14, 84, 163]. Борьба с лесными пожарами должна постоянно пересматриваться, т.к. изменяются условия произрастания древовидных растений, погодные условия, климат, интенсивность лесохозяйственной и рекреационной деятельности [8, 44]. Периодическая ревизия подходов к борьбе с лесными пожарами необходима для повышения эффективности профилактики лесных пожаров [133] и тушения их [97], выводит на первый план задачу научного обоснования (на современном этапе) мероприятий по борьбе с лесными пожарами [46].

Для борьбы с лесными пожарами применяют два направления деятельности: профилактику лесных пожаров и лесное пожаротушение. К профилактическим мероприятиям относятся: активная и пассивная противопожарная пропаганда, противопожарное обустройство лесных массивов, оценка пожарной опасности лесов с выработкой планов действий, запрещение

въезда и хозяйственной деятельности в пожароопасный период и т.п. Второе направление – тушение лесных пожаров – проводят если предыдущие действия оказались неэффективными. Утрата лесного массива или его фрагмента предполагает его дальнейшее восстановление, которое также можно отнести к борьбе с лесными пожарами.

Пожар является бедствием в любом лесном массиве, но существуют определенные территории, где лесной пожар приносит несравненно больше вреда. Такими территориями являются реликтовые леса (в Саратовской области к ним относится Национальный парк «Хвалынский») - уникальный биогеоценоз, восстановить который после пожара будет просто невозможно. Также лесные пожары нельзя допускать на территориях подвергшихся радиоактивному заражению [80, 139]. Например, после радиационной катастрофы на Чернобыльской атомной электростанции в 1986 году заражению подверглись территории Брянской области, которая является богатой лесами и плодородными почвами, леса Республики Украина и Республики Беларусь. Пожары на территориях приводят к выбросу радиоактивных материалов в атмосферу и дополнительному заражению местности и облучению людей. Поэтому борьба с лесными пожарами на таких территориях является задачей первостепенной важности.

Чем сходны территории национальных парков и радиоактивно зараженные территории? Оба вида территорий в наименьшей степени подвергаются воздействию хозяйственной деятельности человека, поэтому травянистые и древовидные растения произрастают на их территории в условиях максимально приближенным к естественным [5, 45, 138]. Проведение противопожарных мероприятий в указанных местах затруднено, т.к. территории реликтовых лесов запрещено использовать гербициды для обработки минерализованных полос, а на территориях, зараженных радиоактивными материалами, запрещено применять почвообрабатывающие агрегаты из-за интенсивного пылеобразования и негативного воздействия радиоактивной пыли на людей и технику. В данном

случае необходимо искать другие методы снижения пожарной опасности в лесах и тушения лесных пожаров.

1.2 Географические, климатические и биологические особенности Саратовской области, способствующие возникновению и развитию лесных пожаров

Географическое расположение Саратовской области обуславливает ряд климатических особенностей, которые определяют количество осадков, их распределение, как во времени так и в пространстве, и их испарение. Распределение осадков влияет на характер растительности региона, в связи с чем, основная часть лесов расположена в Правобережной части Саратовской области [32]. Главной специфической чертой флоры области является ее пограничный характер, расположение территории в нескольких ландшафтных зонах.

Географическое положение Саратовской области. Расположенная в юго-восточной части Восточно-Европейской (Русской) равнины на территории Нижнего Поволжья, Саратовская область занимает площадь около 10124,2 тыс. га. На севере она граничит с Самарской, Ульяновской и Пензенской областями, на западе - с Воронежской и Тамбовской, на юге - с Волгоградской областями, на востоке - с Республикой Казахстан и Оренбургской областью. Область расположена в трех ландшафтных зонах: лесостепной, степной и полупустынной. Характерные особенности рельефа области - равнинность и четко выраженная ступенчатость.

В пределах области протекает 358 рек, относящиеся к трем бассейнам: Волжскому, Донскому, Камыш-Самарских озер. В северной части Правобережья области расположена незначительная часть бассейна р. Суры. Основной запас поверхностных водных ресурсов области приходится на р. Волгу, на которой расположены наиболее крупные водохранилища: Саратовское (плотина в г. Балаково, объем при НПУ – 12,87 км³) и Волгоградское (объем при НПУ – 31,45 км³).

Всего на территории области находится более 3000 прудов и водохранилищ, в том числе 305, емкость которых более 0,5 млн. м³. В настоящее время производится реконструкция старых и проектирование новых водохранилищ. На рисунке 1.1 представлена карта распределения среднееголетнего годового стока рек на территории Саратовской области. [24].



Рисунок 1.1 - Карта распределения среднееголетнего годового стока рек на территории Саратовской области [24]

Водные ресурсы, формирующиеся в пределах области, распределяются неравномерно: 65,8% речного стока приходится на бассейн р. Волги; 28,7% - р. Дона, 5,5%- бассейн Камыш-Самарских озер.

Обобщенные показатели водоаккумулирующей способности озер и прудов области представлены в таблице 1.1 [24].

Таблица 1.1 - Показатели водоаккумулирующей способности ландшафтных районов Саратовской области

Ландшафтный район	Площадь района, км ²	Аккумулированный объём воды, км ³
Западный	12607	0,287
Центральный правобережный	22953	0,178
Северный правобережный	12317	0,101
Южный правобережный	9688	0,138
Центральный левобережный	13863	0,273
Северный левобережный	18763	0,343
Юго-восточный левобережный	21691	0,31
Итого Саратовская область	100200	1,630

За последние три года из-за незначительного паводка и жаркой летней погоды в Левобережье Саратовской области пересыхают большинство прудов и водохранилищ.

В общем, равнинный рельеф Саратовской области благоприятствует ведению лесного хозяйства, лесоразведению. Рельеф накладывает определенные особенности на способы и технологии проведения лесохозяйственных работ. Основная функция леса в Саратовской области это агролесомелиоративная. В Левобережной части Саратовской области отсутствуют крупные реки, в связи с чем основную часть влаги территория получает в зимний период при выпадении осадков в виде снега. Характеристики снежного покрова крайне изменчивы во времени и в пространстве. Такая изменчивость обусловлена большим разнообразием метеорологических условий, физико-географическими условиями и растительным покровом и т.д.

В результате взаимодействия лесонасаждения с участками ландшафта создаются различные биоценозы, улучшается регулирование ветрового режима и снегозадержания, гидрогеологический режим почвы, повышается влагообеспеченность агроценозов, предотвращается эрозия, улучшается регулирование водности рек и предотвращение их заиливания и т.д.

Климатические условия района исследований. Протекающая по территории Саратовской области р. Волга делит территорию области на две части

– Правобережье и Левобережье. По руслу р. Волга проходит граница климатических зон: Правобережье обладает признаками умеренно-континентального климата, а Левобережье – континентального. В связи с этим в наиболее жаркие летние месяцы влажность воздуха снижается до значений 43-55% (см. рис.1.3).

При такой влажности происходит иссушение почвы, гибель природных и сельскохозяйственных растений. Создание лесонасаждений приводит к смягчению климата, увеличению влажности воздуха из-за процессов транспирации и испарения влаги с поверхности листьев древесных растений, что приводит к увлажнению воздуха, высаженный полосами лесной массив выполняет одновременно две функции. Первая заключается в задержании снега в зимнее время и увлажнение почвы для обеспечения вегетации растений. Вторая заключается в защите от суховея. Выполнение всех перечисленных функций ведет к улучшению условий для ведения сельского хозяйства – агролесомелиоративные мероприятия.

Анализ метеорологических показателей на территории Саратовской области в пожароопасный период (апрель-октябрь) за промежуток времени с 2014 по 2020 гг. отражает изменения климатических условий за тот же промежуток (см. таблицу 1.2).

Таблица 1.2 - Анализ метеоусловий Саратовской области в Правобережной и Левобережной частях за пожароопасный период (апрель-октябрь) с 2014 по 2020 гг.

Год	Месяц	Правобережная часть Саратовской области				Левобережная часть Саратовской области			
		средняя температура за месяц	средняя влажность за месяц	сумма осадков за месяц	средняя скорость ветра за месяц	средняя температура за месяц	средняя влажность за месяц	сумма осадков за месяц	средняя скорость ветра за месяц
2014	апрель	7,1	57	70,0	3,4	7,2	59	74,0	3,4
	май	18,5	53	64,0	2,5	19,4	52	35,6	2,7
	июнь	18,3	58	188,0	2,8	20,1	54	175,0	2,7
	июль	21,6	49	20,8	2,2	22,5	44	17,3	2,6
	август	22,2	57	101,0	2,4	23,9	52	80,0	2,5
	сентябрь	13,9	58	14,9	2,0	14,6	56	28,3	2,1
	октябрь	4,9	65	40,0	3,3	5,1	67	52,0	3,0
2015	апрель	7,9	58	105,0	3,6	8,2	61	107,0	3,5
	май	16,5	55	130,0	2,9	17,6	54	116,0	2,9
	июнь	22,6	52	141,0	2,7	24,7	43	83,6	2,8
	июль	21,8	57	82,6	3,1	23,5	48	22,9	2,8
	август	19,3	54	44,8	3,3	20,8	47	45,0	3,4
	сентябрь	17,6	62	46,0	2,5	17,9	57	43,0	2,6
	октябрь	4,3	73	132,0	4,6	4,9	72	146,0	4,3
2016	апрель	9,9	75	140,0	5,4	14,2	71	95,0	4,4
	май	15,3	68	283,0	4,0	19,2	65	129,0	3,2
	июнь	20,1	64	92,0	4,5	23,2	54	34,1	3,2
	июль	22,7	64	131,0	3,5	26,9	53	133,0	2,9

Продолжение Таблицы 1.2 - Анализ метеоусловий Саратовской области в Правобережной и Левобережной частях за пожароопасный период (апрель-октябрь) с 2014 по 2020 гг.

Год	Месяц	Правобережная часть Саратовской области				Левобережная часть Саратовской области			
		средняя температура за месяц	средняя влажность за месяц	сумма осадков за месяц	средняя скорость ветра за месяц	средняя температура за месяц	средняя влажность за месяц	сумма осадков за месяц	средняя скорость ветра за месяц
2016	сентябрь	12,6	73	365,0	3,1	14,9	73	241,0	2,8
	октябрь	5,4	76	70,0	2,2	7,7	72	40,0	2,4
2017	апрель	7,4	63	206,0	3,5	12,2	63	182,0	3,4
	май	13,4	62	290,0	3,0	18,7	58	111,0	3,1
	июнь	17,3	66	164,0	2,8	21,1	63	159,0	2,6
	июль	21,1	65	93,3	2,5	25,9	58	53,3	2,5
	август	21,8	60	36,0	2,1	27,6	52	5,9	2,4
	сентябрь	14,6	70	96,4	2,4	18,3	64	62,0	2,7
	октябрь	6,1	82	222,0	2,6	8,6	78	152,0	2,8
	2018	апрель	7,0	68	113,0	3,2	11,4	70	90,0
май		17,8	51	87,0	2,9	21,6	49	23,1	3,1
июнь		19,4	51	21,2	2,6	24,8	45	15,6	2,8
июль		22,8	64	286,0	2,3	28,4	52	84,0	2,7
август		20,6	57	12,5	2,0	25,9	49	6,1	2,3
сентябрь		16,6	61	142,0	2,3	21,0	55	57,1	2,4
октябрь		8,5	78	116,0	2,6	12,0	71	64,6	2,6
2019	апрель	9,0	58	67,0	2,3	13,9	61	46,0	2,8
	май	17,9	59	96,0	2,1	21,6	59	88,0	2,5

Продолжение Таблицы 1.2 - Анализ метеоусловий Саратовской области в Правобережной и Левобережной частях за пожароопасный период (апрель-октябрь) с 2014 по 2020 гг.

Год	Месяц	Правобережная часть Саратовской области				Левобережная часть Саратовской области			
		средняя температура за месяц	средняя влажность за месяц	сумма осадков за месяц	средняя скорость ветра за месяц	средняя температура за месяц	средняя влажность за месяц	сумма осадков за месяц	средняя скорость ветра за месяц
2019	июнь	22,2	50	37,1	1,8	26,2	47	23,6	2,1
	июль	20,4	59	117,0	2,5	24,8	57	135,0	2,4
	август	18,6	65	172,0	2,8	22,9	56	49,6	3,0
	сентябрь	12,6	64	60,0	2,2	16,7	61	39,0	2,1
	октябрь	10,1	79	78,0	2,8	12,4	76	66,0	2,7
2020	апрель	6,7	56	110,0	4,2	10,3	57	70,0	4,1
	май	14,0	65	158,0	2,8	18,2	61	90,0	3,0
	июнь	20,3	64	167,0	2,2	24,2	57	121,0	2,6
	июль	23,5	51	32,0	2,2	29,3	45	28,3	2,3
	август	19,1	62	162,0	2,5	23,1	58	100,0	2,8
	сентябрь	14,8	55	32,9	2,7	18,9	53	29,9	2,7
	октябрь	9,2	64	29,0	2,3	12,8	60	27,3	2,2

За исследуемый период с 2014 по 2020гг среднегодовое количество осадков по Саратовской области для Правобережной части составляет от 287 до 802 мм, для Левобережной части составляет 218-532 мм. Из них в период пожароопасного периода выпадает только 14-18 % осадков от годового количества, выпадающего на территории Саратовской области. По уровню увлажненности на территории Саратовской области выделяются зоны с различными показателями гидротермических коэффициентов (ГТК) [87,124]:

- слабо засушливая с ГТК теплого периода – более 0,9;
- засушливая с ГТК теплого периода – 0,9-0,65;
- очень засушливая с ГТК теплого периода – 0,65-0,5;
- сухая с ГТК теплого периода – менее 0,5.

По климатическим показателям Саратовская область разделяется на природные микрзоны по температурным показателям и увлажнению, включающие в себя следующие муниципальные районы:

I. Западная – Аркадакский, Балашовский, Романовский, Ртищевский, Самойловский и Турковский.

II. Центральная правобережная – Аткарский, Екатериновский, Калининский, Петровский.

III. Северная правобережная – Базарно-Карабулакский, Балтайский, Вольский, Воскресенский, Новобурасский, Хвалынский.

IV. Южная правобережная – Саратовский, Татищевский, Лысогорский, Красноармеевский.

V. Северная левобережная – Балаковский, Духовницкий, Ивантеевский, Марксовский, Пугачевский.

VI. Центральная левобережная – Ершовский, Краснокутский, Краснопартизанский, Ровенский, Советский, Федоровский, Энгельсский.

VII. Юго-Восточная – Перелюбский, Озинский, Дергачевский, Питерский, Новоузенский, Александрово- Гайский.

Данные климатические характеристики отражены в таблице 1.3

Увеличение засушливости климата области приводит к неравномерному распределению осадков в течение года. Наблюдается увеличение доли осадков, выпадающих в холодный период года и снижение количества осадков, выпадающих в теплый период года. В весенний период часто наблюдаются резкие отклонения температурных показателей от среднесуточных, выражающиеся в резком переходе среднесуточных температур воздуха за короткое время.

Природно-климатические условия в целом благоприятны для произрастания лесной растительности, но резкие отклонения погодных условий в отдельные годы от средних показателей особенно сильно сказываются на молодняках и лесных культурах. Климатическая характеристика микрозон Саратовской области приведены в таблице 1.3.

Таблица 1.3 - Климатическая характеристика микрозон Саратовской области

Показатели	Микрозона						
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Годовая температура воздуха, °С	4,3- 5,2	3,7- 4,7	3,5- 3,8	4,3- 5,3	4,7- 5,3	5,0- 5,2	4,1- 6,0
Дата перехода температуры через +5 °С	15.04 15.10	14.04 17.10	16.04 15.10	15.04 18.10	15.04 17.10	15.04 17.10	15.04 18.10
Дата перехода температуры через +10 °С	27.04 09.09	30.04 28.09	28.04 30.09	26.04 28.09	27.04 29.09	24.04 02.10	24.04 02.10
Продолжительность безморозного периода (дни)	140- 150	134- 165	127- 158	140- 162	145- 155	140- 150	145- 155
Средние даты заморозков последнего первого	08.05 23.09	10.05 22.04	14.05 21.09	11.05 23.09	05.05 30.09	05.05 30.09	05.05 25.09
Годовая сумма осадков, мм	470- 500	450- 480	480- 500	420- 450	360- 380	340- 360	300- 360
ГТК	0,9- 1,0	1,0	0,9	0,8- 0,9	0,6- 0,7	0,6	0,4- 0,6

Климатические условия Саратовской области, складывающиеся в пожароопасный период апрель-октябрь, позволяют развиваться лесным и степным пожарам в устойчивом и беглом вариантах. Господствующие ветра (юго-восточные и северо-западные) дуют со скоростью 2-6 м/с, количество дней штиля

и сильных ветров более 15 м/с составляют не более 10% от числа дней в году, такие погодные условия позволяют с 90%-ой вероятностью развиваться только низовым пожарам [142]. Среднегодовая фактическая продолжительность пожароопасного сезона составляет 170-200 дней и длится с начала апреля до конца октября. Средний класс пожарной опасности по условиям погоды – 3,7 единицы. Продолжительность по классам пожарной опасности: 1 класс – 15-20 дней, 2 класс – 20-30 дней, 3 класс – 25-30 дней, 4 класс – 35-40 дней, 5 класс – 60-80 дней [134, 142].

Анализ динамики возникновения лесных пожаров показывает, что первый всплеск количества пожаров наступает в весенний период (с середины апреля по конец мая) [7]. Это обусловлено сходом снежного покрова и резким повышением среднесуточных температур воздуха, отсутствием в этот период зеленой растительности, стихийным проведением выжиганием растительности с сельскохозяйственных территорий в период весенних полевых работ и т.п. Затем происходит спад, и через некоторое время после установления на большей части территории области чрезвычайной пожарной опасности (начало августа) число лесных пожаров вновь резко увеличивается (данные приведены на табл. 1.4). Это продолжается до повсеместного выпадения большого количества осадков (в разные годы с конца августа по октябрь).

Таблица 1.4 - Среднемноголетние значения количества природных пожаров по месяцам в Саратовской области за период 2014-2020гг.

месяц	Значения количества пожаров	
	Правобережная часть	Левобережная часть
апрель	44	4
май	45	4
июнь	47	12
июль	37	9
август	65	6
сентябрь	67	13
октябрь	72	6

Описание растительности района исследований. На территории Саратовской области произрастает более 30 древесных и столько же кустарниковых пород [124]:

- целевыми породами являются – дуб черешчатый (*Quercus robur L.*), сосна обыкновенная (*Pinus silvestris L.*), тополь белый (*Populus alba*), тополь черный (*Populus nigra*), ольха черная (*Alnus glutinosa (L.) Gaerth*), ветла (*Salix alba*), береза бородавчатая (*Betula verrucosa Ehrh.*);

- сопутствующими породами являются – рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia L.*), осина (*Populus tremula L.*), клен остролистный (*Acer platanoides L.*), липа мелколистная (*Tilia cordata*), груша лесная (*Pirus communis L.*), яблоня лесная (*Malus silvestris (L.) Mill*), ива козья (*Salix carea*), черемуха (*Padus racemosa (Lam.) Gilib*);

- кустарниковыми породами являются – жимолость татарская (*Lonicera tatarica L.*), бузина красная (*Sambucus racemosa L.*), калина обыкновенная (*Viburnum opulus L.*) облепиха крушиновая (*Hippophae rhamnoides*), терн (*Prunus spinosa L.*), лещина обыкновенная (*Corylus avellana*), смородина черная (*Ribes nigrum*), шиповник (*Rosa canina L.*), вишня степная (*Cerasus fruticosa (Pall.) G.Woron*), боярышник колючий (*Crataegus exuacantha L.*), бересклет бородавчатый (*Euonymus*), крушина ломкая (*Frangula alnus Mill.*).

В лесном фонде хвойные породы произрастают на площади 79,1 тыс. га, на твердолиственные приходится 328 тыс. га, на мягколиственные – 161,4 тыс. га. Основной лесообразующей породой области является дуб, который произрастает на площади 251,6 тыс. га. Площадь насаждений сосны составляет 78,1 тыс. га, осины – 41,1 тыс. га, березы – 32,9 тыс. га, липы – 33,1 тыс. га и ивы – 29,5 тыс. га, данные отражены в таблице 1.5.

Из общей площади хвойных насаждений в Саратовской области (79,1 тыс. га) – 66,9 тыс. га (84,4 процента) приходится на долю молодняков и 24,3 процента площади приходится на средневозрастные насаждения [124]. Из общей площади твердолиственных насаждений на территории области – 328 тыс. га, на низкоствольные приходится 293,2 тыс. га или 89,4 %. Площадь низкоствольных

дубовых насаждений в области составляет 220,2 тыс. га или 87,5 %. Средневозрастные низкоствольные дубовые насаждения являются преобладающей группой возраста, на ее долю приходится 47,9 % всей площади низкоствольных дубовых насаждений. Приспевающие, спелые и перестойные насаждения занимают 46,9 % площади дубовых низкоствольных насаждений.

Таблица 1.5 - Породная структура лесов Саратовской области

Породы	Государственный лесной реестр на 1 января 2018 года			
	площадь (тыс. га)	доля к общей площади (%)	запас (млн м ³)	доля к общему запасу (%)
Хвойные:				
Сосна	78.1	13.7	5.91	10.0
Лиственница	1.0	0.17	0.12	0.20
Итого хвойных:	79.1	13.91	6.03	10.2
Твердолиственные:				
Дуб высокоствольный	31.4	5.5	3.87	6.55
Дуб низкоствольный	220.2	38.7	25.55	43.24
Итого дуба:	251.6	44.2	29.42	49.79
Ясень	23.7	4.16	1.0	1.69
Клен	14.9	2.62	0.79	1.33
Вяз	36.6	6.43	1.81	3.06
Акация белая	1.2	0.21	0.04	0.06
Итого	328	57.69	33.06	55.95
Мягколиственные:				
Береза	32.9	5.78	3.24	5.48
Осина	41.1	7.23	5.25	8.88
Ольха черная	8.4	1.48	1.02	1.72
Липа	33.1	5.82	5.55	9.39
Тополь	16.4	2.88	2.34	3.96
Ива древовидная	29.5	5.19	2.5	4.23
Итого	161.4	28.39	19.99	33.8
Итого основных пород:	568.5	100	59.08	100

Одной из задач лесного хозяйства области является формирование лесных насаждений, которые при существующих экономических условиях и особенностях лесного хозяйства следует выращивать в данных лесорастительных условиях с целью получения максимального хозяйственного эффекта. Такие лесные насаждения являются оптимальными хозяйственно-целесообразными, целевыми, отвечающие следующим требованиям:

- состав и структура насаждений обеспечивает более полное использование потенциального плодородия почв;

- древесные породы, составляющие насаждения, являются хозяйственно-ценными и устойчивыми против неблагоприятных факторов среды;

- строение и сортиментная структура древостоев ориентированы на получение продукции, в большей степени удовлетворяющей местные потребности;

- породный состав и строение насаждений обеспечивают проявление ими в максимальной степени природоформирующих, природоохранных, защитных и других полезных свойств леса.

Согласно геологическим, гидрологическим и климатическим условиям Саратовская область относится к засушливым пожароопасным регионам. Возникновение и развитие пожаров осложняется значительными трудностями в послепожарном восстановлении лесных и агролесомелиоративных угодий. Низкая влажность почвы не способствует росту и развитию древовидных растений на ранних этапах его развития, а тепловое воздействие на почвенный покров ведет к снижению его плодородия. Борьба с возникновением и развитием природных пожаров (лесных и степных) это одна из важнейших задач при ведении лесной и сельскохозяйственной деятельности на территории Саратовской области [53,169].

Потенциальная пожарная опасность в лесах и фактическая горимость лесов зависят от многих факторов: породного состава и состояния насаждений, типа условий их произрастания, развития транспортной сети, посещаемости лесов населением, противопожарного обустройства территории и многих других. Для оценки природной пожарной опасности лесных участков области применяется классификация утвержденная официальным документом [137]. Распределение лесов Саратовской области по классам пожарной опасности представлено в таблице 1.6 и на карте-схеме распределения лесов по классам пожарной опасности [124].

Таблица 1.6 - Распределение лесов Саратовской области по классам пожарной опасности (на 1 января 2018 года).

Классы пожарной опасности	Площадь, тыс. га	Процент данного класса к общей площади лесов
I	97,53	13,5
II	47,906	6,7
III	453,233	62,8
IV	89,072	12,3
V	34,112	4,7

Наиболее опасные в пожарном отношении участки леса (I и II классы) занимают 20,1 % площади лесов Саратовской области. Средневзвешенный показатель по природной пожарной опасности [48] составляет 2,9. Наиболее пожароопасные лесные массивы находятся в Базарно-Карабулакском, Черкасском, Вольском, Лысогорском и Петровском лесничестве (I класс пожарной опасности). Оценка комплексного показателя пожарной опасности лесов Саратовской области показал, что его наибольшие значения 4 и 5 классы фиксируются в период июнь- октябрь.

1.3 Условия возникновения и распространения лесных пожаров и моделирование сценариев их развития

Лесной пожар практически никогда не возникает сам по себе. Условия внешней среды на территории РФ не могут привести к самопроизвольному возникновению лесного пожара, т.к. даже в полдень в южных регионах России мощности солнечного излучения недостаточно для достижения условий самовоспламенения ЛГМ. Проведя анализ причин возникновения пожаров в Саратовской области можно увидеть, что случаи полностью естественного происхождения лесного пожара – сухая гроза, - крайне редкое явление для Саратовской области. Длительный засушливый период только «подготавливает» территорию к возникновению и распространению лесных пожаров, а причина пожаров все та же – антропогенное воздействие.

К условиям возникновения и распространения лесных пожаров относят: (1) наличие достаточных запасов ЛГМ, доступных для горения; (2) растительная формация леса, (3) влажность и пирогенные свойства ЛГМ; (4) наличие проводников горения; (5) наличие естественных или искусственных противопожарных преград; (6) объем и качество мероприятий по противопожарному обустройству лесного массива; (7) уклон местности, (8) процесс изменения климата в сторону потепления и снижение количества осадков; (9) вид антропогенного воздействия на лесной массив: сплошная вырубка и несплошная рубка лесов, выжигание растительности, сбор недревесной продукции леса, рекреация, туризм и т.п.

Запасы лесных горючих материалов. Лесные массивы обладают третьим по величине запасом углерода после океана и атмосферы. Тем не менее, главным отличием углерода в лесных массивах от любого другого его вида является его присутствие в органической форме – доступной для горения.

Оценка запасов углерода в естественных и искусственных массивах лесных массивах [9, 75, 88] проводится в рамках ежегодной инвентаризации лесов. Фитомасса лесов России содержит 75,5 Пг (1 Пг = 109 т) сухого органического вещества или $(37,5 \pm 1,5)$ Пг углерода со средним запасом $(4,56 \pm 0,19)$ кг/м² [88, 172], учитывая площадь лесов Саратовской области была вычислена фитомасса лесов равная 0,94 Пг сухого органического вещества. Запасать углерод в лесных массивах предписывает соглашение об ограничении выбросов парниковых газов (главным образом, углекислого газа) в атмосферу планеты Земля для противодействия и глобальному потеплению [37], для компенсации накопления в атмосфере углекислого газа от сжигания ископаемого топлива (угля, нефти, природного газа). Для оценки запасов углерода проводят имитационное моделирование, с целью оценки эффективности консервации углерода в лесах [75, 170]. Лесозаготовки и пожары, происходящие в лесах, отрицательно влияют на углеродный баланс, т.к. погибшие и срубленные деревья перестают запасать углерод, а пожар высвобождает его в атмосферу дополнительное количество углерода в виде моно- и диоксида [75].

Наибольшие запасы углерода располагаются в стволах деревьев, тем не менее, для взаимодействия с окружающей средой у древовидных растений есть листья (лиственные растения) и хвоя (хвойные растения), которые обладают более коротким сроком жизни – от нескольких месяцев до одного года. Из-за изменения времен года, наблюдаемых на территории Российской Федерации, лиственные растения в осенний период сбрасывают листву, а хвойные постепенно обновляют свою - хвою. Падая к подножью деревьев, листва и хвоя формирует *лесной опад* смешиваясь с корой, листьями и стеблями отмерших травянистых растений и кустарников. Все перечисленное формирует так называемый детрит, мертвую органическую материю, переработкой которой неорганическую массу занимаются группа микроорганизмов - детритофаги. Переработка детрита процесс довольно медленный (зависит от сезона, влажности, температуры и т.п.) - стволы деревьев, поваленные бурей – *бурелом* - могут подвергаться естественной переработке в течение нескольких лет [77].

На формирование запасов ЛГМ влияет множество факторов: рельеф местности [75], подрост [162], скорость накопления хвои в хвойных лесах, заселенных сосной и елью [77]. Процессы накопления и расходования ЛГМ лесного опада подвергаются натурным исследованиям [77] и моделированию [51]. На динамику почвенного покрова оказывают также влияние процессы природообустройства лесного массива, пройденного рубками [48].

Растительная формация леса играет важную роль в возникновении и распространении кромки лесного низового пожара [152]. Различные древесные породы и их продукты (листва, хвоя) обладают различными пирогенными свойствами [94, 146], что обуславливается химическим составом ЛГМ, его плотностью, составом продуктов пиролиза, насыщенных горючими (монооксид углерода, метан) или негорючими (углекислый газ) газами. При пиролизе ЛГМ выделяться: низкомолекулярные спирты, альдегиды, кетоны кислоты и т.п. Их горения происходит в режиме формирования пламени. Тепловыделение при горении древесины различных пород деревьев составляет 18-19,62 МДж/кг [29]. Высокие температуры горения и значения тепловыделения при горении

обуславливают легкое распространение лесного низового пожара и устойчивость горения ЛГМ.

На территории юго-востока Европейской части Российской Федерации распространены следующие породы хвойных деревьев: сосна обыкновенная (*Pinus silvestris*) и ель (*Picea*). Известно [26, 37], что хвойные леса наиболее подвержены горению, что объясняется более сухой древесиной и [146] и наличием большого количества древесной смолы - живицы – горючим веществом, смесью углеводов (скипидар), высокомолекулярных эфиров и органических кислот (канифоль) [147]. Их горение имеет высокую температуру, что обеспечивает устойчивое развитие и распространение лесного пожара.

Лиственные растения, наоборот, более влажные и должны быть менее пожароопасны [117], хотя и здесь есть исключения – береза (*Betula pendula*), которая также имеет в своем составе определенное количество жидких горючих веществ (дегтя), поэтому среди лиственных деревьев береза тоже обладает повышенной пожарной опасностью.

Влажность и пирогенные свойства ЛГМ играют важную роль при лесном пожаре, т.к. согласно [47] с повышением влажности понижается теплотворная способность ЛГМ, т.е. при влажности 100% теплотворная способность равна нулю. Влажность свежесрубленной древесины колеблется от 50 до 70% и такая древесина будут участвовать в горении только при высокоинтенсивных лесных пожарах. В реальности же в условиях повышенной влажности реализуются беглые низовые пожары, обходящие наиболее влажные участки. При длительной засухе (30-60 дней) «питательной почвой» для лесного низового пожара становится лесной опад, находящийся в суховоздушном состоянии (влажность 15-25 %). Именно он формирует тот запас ЛГМ, который наиболее активно будет обеспечивать распространение кромки лесного пожара являясь проводником горения.

Наличие проводников горения. Лесной низовой пожар распространяется в пространстве по поверхности ЛГМ - проводникам горения [139, 154]: лесной опад, лесная подстилка, лишайник, мхи, торф, валеж, а также отходы

лесозаготовления: пни и порубочные остатки. Длительный антициклон, высушивает указанные типы ЛГМ, подготавливая их к возникновению пожара.

Наличие естественных или искусственных противопожарных преград.

Кроме факторов, способствующих возникновению и развитию лесного низового пожара, существуют факторы, препятствующие ему. По каким-то причинам, на отдельных участках природного ландшафта происходит остановка распространения лесного низового пожара и наблюдается процесс самотушения [17, 164]. К таким факторам относятся наличие как естественных: участки свободные от растительности, отрицательные уклоны, водные преграды (реки, пруды, озера), влажные низины, овраги и т.п.; так и искусственных противопожарных преград: авто- и железнодорожные магистрали, места активных карьерных разработок, противопожарные разрывы, минерализованные полосы. Определенными огнезащитными свойствами обладают места несплошных рубок леса [168].

Искусственные противопожарные заградительные полосы обладают универсальными свойствами (их специально для этого обустривают), т.к. применяются как для ограничения (или замедления) распространения лесного низового пожара, так и для его тушения путем обустройства пожарных ловушек. Так как лесной низовой пожар распространяется по напочвенному слою ЛГМ, то прекратив эту передачу можно и остановить низовой пожар и потушить его. Разработкам противопожарных преград посвящены следующие работы [15, 54, 71, 143]. Для защиты лесных массивов и лесонасаждений от верховых пожаров используют приемы противопожарного обустройства – противопожарные разрывы, а для борьбы с низовыми пожарами применяют минерализованные полосы. Указанные мероприятия постоянно совершенствуются [71], пересматриваются методы создания лесонасаждений с целью повышения их устойчивости к пожарам [143]. Существуют экспериментальные подтверждения возможности построения противопожарных заградительных полос путем сброса огнетушащих или огнезадерживающих составов с воздушного судна, например, вертолета [54, 55]. Кроме этого, предложены защитные экраны для остановки и

локализации лесных низовых пожаров [15]. Ограничение распространения пожара во многом обуславливается объемами и качеством мероприятий по противопожарному обустройству территории. Ошибки в проектировании, недостаточные объемы выполнения сводят на нет усилия работников лесного хозяйства по предупреждению возникновения пожаров в лесах.

Процесс изменения климата. Изменение климата в сторону потепления, также играет важную роль в возникновении и распространении лесных пожаров, т.к. достоверно установлено повышение вероятности и силы проявления лесных пожаров в последние 30-40 лет, как раз в пик наиболее сильного техногенного воздействия на природу. В аномальных погодных условиях, происходит развитие аномальных пожаров [28, 172]. Анализ ситуации с лесными пожарами показывает негативную тенденцию к их росту их размеров и ущерба от них.

Вид воздействия на лесной массив. Лесозэксплуатация Саратовской области включает в себя: использование древесных ресурсов (заготовка древесины различных пород), пользование вторичных ресурсов леса (сбор ягод, грибов, березового сока, пчеловодство, и т.д.), пользование леса для организации охоты, туризма и отдыха. Искры от оборудования для заготовки древесины, непотушенные угли, оставшиеся от туристов, брошенный окурок сигареты и т.д., все это приводит к увеличению количества пожаров в лесах Саратовской области. Весенне-летние сельскохозяйственные палы, связанные с выжиганием сухой травы и кустарников, сжиганием мусора являются одной из основных причин возникновения лесных пожаров.

Анализируя статистику по лесным пожарам Саратовской области только в 2% причинами возникновения лесных пожаров явились естественные источники (сухие грозы), в остальных 98% случаев - это пожары случайно или намеренно вызванные особенностями ведения хозяйственной деятельности на территории природных объектов – лесных массивов или сельскохозяйственных угодий, неосторожное обращение с огнем неизвестных лиц и т.д. (см. рис. 1.2).

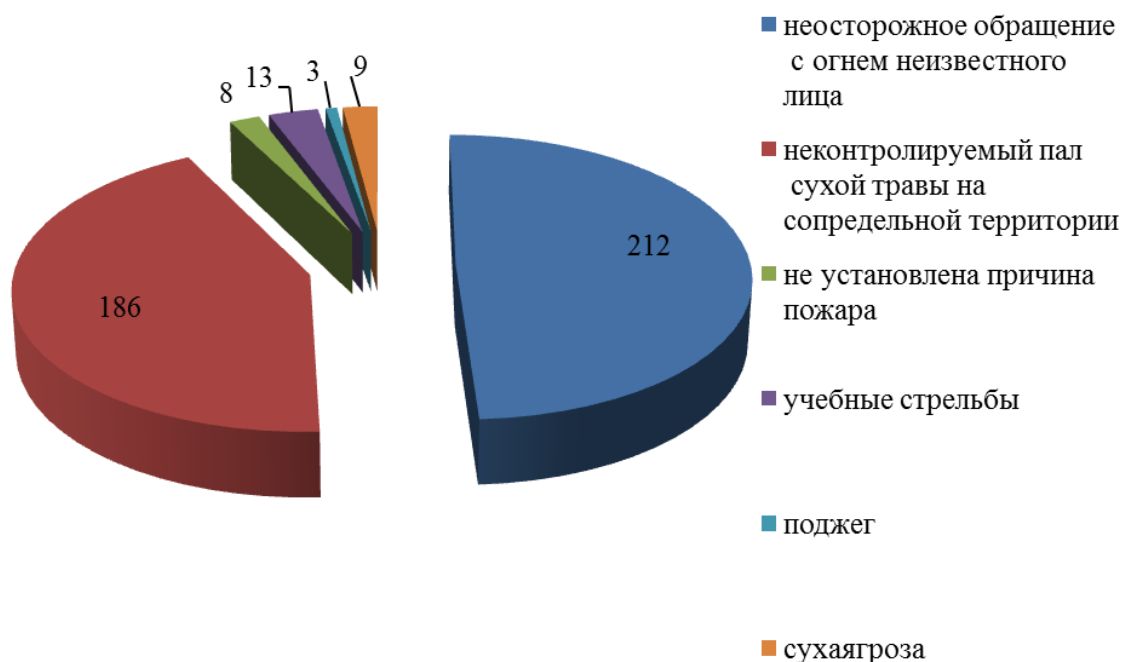


Рисунок 1.2 - Количество пожаров произошедших на территории Саратовской области с 2014 по 2020 годы

Моделирование лесных пожаров. Лесные пожары обладают ярковыраженным сезонным характером – наибольшая вероятность их возникновения наблюдается в теплое время года при небольшом количестве осадков. Поэтому сценарий развития лесных пожаров поддается моделированию и составлению прогноза пожарной обстановки в лесах. Лесные пожары довольно медленные процессы, повлиять на которые может множество факторов. Эти факторы можно выразить численно и произвести расчет следующих параметров: вероятность возникновения пожара, направление его распространения, скорость распространения, пройденное расстояние за сутки, время подхода кромки низового пожара к определенной точке (населенному пункту или промышленному объекту), длину кромки низового пожара, площадь горельников, ущерб от пожара. Моделирование позволяет оценить параметры пожара и его ущерба без самого пожара, а также оценить эффективность противопожарных мероприятий. Все это можно сделать в режиме реального времени, а также провести прогноз даже на несколько лет вперед, закладывая в исходные данные

изменения климата, рост и развитие лесного массива, изменение его хозяйственного назначения и т.п.

Моделированию и прогнозированию поведения лесных пожаров, возникших в природных ландшафтах, посвящен ряд работ [18, 41, 153, 155, 176]. Для описания процессов управляющих поведением лесных пожаров используют разные модели, обзор которых представлен в работе [153]. С точки зрения моделирования лесной низовой пожар является сложным процессом, состоящим из большого числа последовательных и параллельных процессов, способных происходить независимо друг от друга. Так, например, скорость распространения низового пожара зависит от скорости ветра, но зависимость эта нелинейная, т.к. существуют ограничения на перенос пламени с одного участка заполненного ЛГМ на другой. При определенной скорости ветра может наблюдаться срыв пламени с поверхности горящего материала - самотушение. Наличие параллельных процессов требует привлечения параллельных вычислений [23, 38], что легко позволяют выполнить современные вычислительные машины с многоядерными процессорами. Кроме этого, серьезных результатов позволяет добиться применение агентных моделей в описании процессов распространения и ликвидации природных пожаров [67]. Сложность моделирования и необходимость проводить дополнительную настройку алгоритма вычисления сценария поведения лесного пожара требует постоянной корректировки алгоритма вычислений и применение гибридных моделей природных пожаров [2].

Задачи моделирования развития лесных пожаров, фактически являются задачами на собственные значения, где результат во многом зависит от внешних условий и качества учета этих условий. Лесной пожар - это процесс который подчиняется законам сохранения массы и энергии, а значит обладает однозначностью в решении, что позволяет разрабатывать программное обеспечение не только для проведения моделирования в научных и производственных целях [14], но и создавать программное обеспечение для учебного процесса [18].

Оценка пожарной опасности лесов. Для оценки пожарной опасности лесов в Российской Федерации применяют единую стандартную шкалу пожарной опасности в лесу по породному составу и по условиям погоды [135].

Повышенными значениями пожарной опасности обладают хвойные леса, а также смешанные леса с преобладанием хвойных пород [110, 135, 168], что не удивительно, т.к. в условиях резко-континентального климата хвойные породы проявляют повышенную устойчивость, выживаемость и стремление к росту и размножению. Хвойные породы растений считаются более древними, а значит более приспособленными и устойчивыми для заселения территорий с континентальным климатом. Быстрый рост хвойных растений (особенно сосны) заложенный в них природой и используется для лесоразведения (например, киотские леса в Саратовской области). Обратной стороной устойчивости хвойных пород является более сухая древесина, насыщенная смолами обладающая большей пожарной опасностью по сравнению с лиственными породами. Производимая хвойными деревьями хвоя, осыпаясь формирует быстросохнущий слой ЛГМ, который и обуславливает пожарную опасность хвойных лесов и лесонасаждений [12, 150] обуславливая специфические пожарные режимы в таких лесах [84].

Другим способом оценки пожарной опасности лесов является вычисление оценке пожарной опасности лесов по условиям погоды предполагает проведение вычисления комплексного показателя - индекса Нестерова [33, 48, 83]. Тем не менее, Российская Федерация обладает большим разнообразием климатических зон и, как следствие, погодных условий. Пожароопасный сезон в Саратовской области может длиться до 7 месяцев, поэтому существует настоятельная необходимость в разработке региональных шкал пожарной опасности в зависимости от условий погоды [34, 124]. Климат характеризуется большими диапазонами температур воздуха в теплое и в холодное времена года, другими словами, холодная зима и жаркое засушливое лето из-за господства над указанными территориями антициклонов.

1.4. Профилактика, обнаружение и тушение лесных пожаров

Лесные пожары происходят не каждый день, да и не каждая лесная местность подвергается воздействию лесного пожара в течение одного пожароопасного периода. Это означает, что лесные пожары явление достаточно исключительное, для возникновения и успешного протекания которого требуется «благоприятное стечение» обстоятельств. Следует напомнить, что лесные пожары имеют полностью естественное происхождение в достаточно малом количестве случаев (2%), остальное же, результат действий человека.

Профилактика лесных пожаров. «Пожар легче предотвратить, чем его тушить!» фраза, по-видимому, известна сегодня даже школьникам младших классов! Тем не менее, человек обладает рядом негативных свойств, одним из которых является то, что знать и делать - не одно и то же, что и обуславливает антропогенный характер возникновения лесных пожаров.

Профилактика лесных пожаров складывается из нескольких составляющих: (1) противопожарная пропаганда, проводимая в активной форме - обход жителей и их оповещение о сложившихся пожароопасных условиях и введение запрета на применение открытого пламени на местности - и в пассивной форме - распространение и вручение памяток, применение элементов социальной рекламы в СМИ, установка информационных стендов сообщающих о необходимости быть осторожным с открытым огнем на территории природного ландшафта; (2) запрет на ведение хозяйственной деятельности в лесу при достижении определенного значения коэффициента пожарной опасности [84] и т.п. Трудно судить, но возможно, что без усилий в этом направлении лесных пожаров было бы гораздо больше. Но, история показывает, что надежда на сознательность человека довольно слабая, т.к. кроме намеренных действий человек совершает еще и ненамеренные. Поэтому в дополнение к противопожарной пропаганде проводят еще и противопожарное обустройство лесного массива для чего применяют различные методы: почвообрабатывающий, водный, химический и огневой.

Почвообрабатывающий метод применяют для ограничения распространения и при тушении лесного низового пожара. На пути распространения огня обустройства препятствия - прокладывают заградительные минерализованные полосы. Метод применяется там, где отсутствуют источники воды или доступ к ним затруднен. Для прокладки минерализованных полос используют специальные лесные плуги и землеройные машины - бульдозеры, кусторезы, канавокопатели и пр. В работе [28] показано, что минерализованная полоса не является эффективным противопожарным барьером из-за отсутствия 100%-ной гарантии от переброски пламени с одной ее стороны на другую.

Водный метод заключается в проливке участка местности водой с целью увеличения влажности ЛГМ и защиты участков леса от попадания на них источников горения тушении огня. Проливку участка местности водой можно осуществлять вдоль автомагистралей, границ территорий объектов хозяйственной деятельности и населенных пунктов и т.п. Воду подают при помощи ранцевых опрыскивателей (огнетушителей), а также с помощью насосов – переносных мотопомп и насосов автоцистерн, в том числе и пожарных.

Огневой метод заключается в организации контролируемого отжига ЛГМ на некоторой территории [57, 104]. Для этого создают огнезащитный барьер в виде искусственной широкой минерализованной полосы или просеки либо используют естественные барьеры (дороги, реки) и от них навстречу пожару пускают огонь. Такой способ достаточно прост, дешев в проведении. Чаще всего его применяют при ведении сельского хозяйства для подготовки территории к высадке культурных растений. В лесном хозяйстве такой метод обустройства применяют реже других, т.к. работники лесного хозяйства знают, что контролируемый отжиг - процедура опасная, в связи с высокой вероятностью потери контроля над процессом горения, особенно в пожароопасный период.

Химический метод основан на химическом воздействии на зону горения, путем использования при обустройстве полос химических пен, химических реагентов и других веществ для предотвращения и тушения пожара [57, 112].

Обнаружение лесных пожаров. Лесные пожары, в абсолютном большинстве случаев, возникают в ограниченном количестве мест: вдоль населенных пунктов, промышленных объектов, оживленных авто- и железнодорожных магистралей. В чаще леса пожары возникают редко и являются результатом людской деятельности - неосторожного обращения с огнем или умышленного поджога. Для скорейшей ликвидации пожара его необходимо своевременно обнаружить, для чего создана многоуровневая система [42], включающая непосредственную деятельность сотрудников лесничеств [159] и привлекающая для этого наземный, воздушный и спутниковый мониторинг [14]. Обнаружить лесной пожар в дневное время можно по дыму («не бывает дыма без огня»), а в ночное по световому излучению [52], которое формирует открытое пламя. К наблюдению за возникновением и распространением лесных пожаров [175] привлекают разнообразные технические средства: видеосенсоры и системы автоматизированного обнаружения лесных пожаров [52], которые удобно размещать на антеннах сотовой связи, устанавливаемых вдоль автомагистралей, а также в населенных пунктах; беспилотные летательные аппараты [169] и т.п. Видеосигнал обрабатывается вычислительными комплексами на предмет выявления признаков пожара.

Обнаружение и мониторинг лесных пожаров также позволяет поводить специализированные системы [109], которые по данным о месте возникновения пожара и данных о погодных условиях способны прогнозировать сценарий развития лесного пожара, возможные направления его движения, возможную угрозу для населенных пунктов и промышленных объектов, а также возможный ущерб [147].

Тушение лесных пожаров. К тушению лесных пожаров приступают в том случае, когда не помогли ни профилактика, ни препятствование его свободному распространению. Тушение лесного пожара дело трудное и опасное и занимаются им должны работники, прошедшие специальную подготовку по правилам использования оборудования для тушения лесных пожаров [132, 156], а также правилам безопасности при тушении лесных пожаров. Согласно [159] тушением

лесных пожаров обязаны заниматься сотрудники лесхозов, владельцы, арендаторы, в ведении которых находятся участки леса, охваченные лесными пожарами. Тушение пожара наземными средствами предполагается только в случае возникновения и распространения лесного низового пожара [100, 160]. В случае возникновения верхового пожара его тушение предполагается только с использованием авиационных средств пожаротушения [25]. Тушение лесного пожара - это сложное организационно-техническое мероприятие, эффективность которого зависит от множества факторов, в первую очередь от грамотного управления силами и средствами тушения пожара [35, 42] и эффективного взаимодействия всех участников тушения [42, 76].

Грамотное управление действиями лесных пожарных предполагает согласование действий всех участников тушения пожара для скорейшего тушения пожара. Лесные пожарные чаще всего применяют два способа тушения пожара: (1) с расходом огнетушащих средств и (2) без их расхода. Первый способ предполагает наличие расходуемого огнетушащего средства (состава), к примеру, воды и водных растворов [59, 132, 156], песка, грунта [149], огнетушащего порошка [1, 57]. Второй способ предполагает применение ручных средств для сбивания пламени – противопожарных хлопушек. Тушение лесных пожаров вручную как при использовании огнетушащих средств, так и без них является очень тяжелым и трудоемким видом деятельности [163, 166], который предполагает высокие затраты чел/час на единицу длины кромки лесного низового пожара. В [132, 156] представлены средние значения трудоемкости процессов тушения пожара при использовании различных огнетушащих средств. Анализируя представленную информацию, что трудозатраты при тушении низового пожара снижаются при использовании огнетушащих средств, причем примерно в 10 раз. Ответом на современные вызовы в области тушения лесных пожаров происходит совершенствование технологий тушения пожара [78, 79, 141], разработка технических средств ее реализации [120, 152], огнетушащих составов [56, 59, 62] и методик оценки их параметров и эффективности [39].

С физико-химической точки зрения потушить лесной пожар означает разорвать цепь передачи открытого пламени с одного участка покрытого ЛГМ на другой. Выполнить это можно реализовав одно (или несколько) огнетушащих воздействий из четырех возможных [20]: охлаждение, изоляция, разбавление и ингибирование. Известно, что практически никогда не реализуется какое-либо одно огнетушащее действие: тушение водой, водными растворами, пеной, песком, грунтом реализует как минимум два действия – охлаждение и изоляцию. Разбавление при тушении гетерогенного горения (горения твердых ЛГМ в воздухе) не реализуемо в принципе, хотя к нему с натяжкой можно отнести механическую очистку территории от ЛГМ путем срезания бульдозером или перепашка плугом. Остается ингибирование, которое до последнего времени применяется только при тушении техногенных пожаров [160] происходящих в закрытых помещениях, т.к. на открытом воздухе ингибирование имеет низкую эффективность.

Наиболее часто при тушении лесных пожаров в качестве огнетушащего состава применяют воду, водные растворы смачивателей, грунт [60, 132, 156]. Вода является наиболее распространенным огнетушащим средством, что легко объясняется ее физико-химическими свойствами: высокой теплоемкостью, высокой температурой кипения, относительной химической инертностью к большинству горючих веществ и продуктов горения и т.п. Вода способна тушить пожары в двух агрегатных состояниях – жидком и в виде пара. Тем не менее, для тушения горящих ЛГМ вода обладает одним значительным недостатком – высоким поверхностным натяжением, из-за которого она достаточно плохо (и медленно) смачивает ЛГМ, что затрудняет тушение низового пожара и приводит к перерасходу воды при тушении [58, 174].

Низкая смачиваемость водой ЛГМ приводит к тому, что после тушения кромки лесного низового пожара остаются многочисленные очаги тления (местом реализации беспламенного горения), т.к. рыхлая структура ЛГМ позволяет сохранять в себе достаточное количество воздуха расходуемого на поддержание горения. Такие очаги неизбежно приводят к повторному возникновению

возгорания из-за подсушивания верхнего слоя ЛГМ, что нередко наблюдается при тушении лесных низовых пожаров. Для борьбы с очагами тления применяют операции окарауливания и дотушивания с обязательной проливкой кромки лесного пожара для дотушивания очагов тления. Так как определить место очага тления трудно, то в большинстве случаев просто осуществляют дополнительную проливку кромки пожара, что неизбежно приводит к перерасходу воды, увеличению времени тушения, отвлекает силы и средства.

Применение различных добавок к воде может компенсировать некоторые ее недостатки. Известно [20], что растворение в воде некоторых веществ приводит к снижению поверхностного натяжения раствора, причем максимальные значения такого снижения можно получить при использовании поверхностно-активных веществ (ПАВ). Водный раствор ПАВ смачивает поверхность ЛГМ гораздо лучше чем вода, что несколько повышает эффективность лесного пожаротушения. Это явление активно применяют при тушении лесных пожаров, используя специальные добавки к воде – смачиватели [60, 132, 156], которые поставляются в виде таблеток, масса которых рассчитана на объем воды в ранцевом огнетушителе (15- 18 дм³). Из смачивающих составов (поверхностно активных веществ) наиболее известен сульфанола - быстросмачиваемый в воде, желтый порошок. Его добавка в количестве 30 г на ведро воды (0,3 % по массе) резко повышает ее смачивающие свойства. В качестве смачивателей можно использовать моющие средства типа “Прогресс”, “Дон”, “Астра” и смачиватели группы ОП-7, ОП-10 и др. Водные растворы сульфанола и др. смачиватели незаменимы при борьбе с устойчивыми подземными пожарами, особенно с торфяными, т. к. они способны быстро проникать в лесную подстилку и торф. Действительно такой прием несколько повышает огнетушащие свойства воды, тем не менее, он не способен принципиально их изменить, т.к. сам смачиватель не обладает какой-либо огнетушащей активностью.

Для повышения эффективности тушения лесных пожаров разрабатывают и используют различные специальные химические составы другого типа действия,

которые подразделяются на *огнезадерживающие (ретарданты)* и *огнетушащие*. К огнетушащим и огнезадерживающим составам долговременного действия относится ОС-5 [56]. Он выпускается в виде порошка, легкорастворимого в воде. Оптимальная концентрация в растворе - 13 %. Раствор хорошо тушит огонь не только в пламенной фазе горения, но и угли (в фазе тления) и используется при прокладке противопожарных заградительных полос. Обработанные этим раствором ЛГМ защищены от горения в течение нескольких суток. Опорные полосы для пуска отжига достаточно прокладывать шириной 0,3-0,5 м. Дозировка раствора на опорных полосах, в зависимости от мощности напочвенного покрова, - от 0,5 до 1,5 л на 1 м². Состав ОС-5 доставляют до места приготовления растворов в заводской упаковке. Рабочий раствор транспортируют к месту пожара в цистернах, баках, мягких емкостях и т. д.

В качестве огнезадерживающего состава успешно применяют некоторые пенообразователи. Пенообразователь F-15 (FINIFLAM-FLORAUND F-15, производитель Германия) используется в виде концентрированного раствора --как 6 % я добавка к воде при тушении пожаров с использованием пеногенераторов и 0,5--3,0 % я добавка к растворам при тушении с применением водосливного авиационного устройства и самолетов танкеров. [175].

При тушении лесных пожаров применяют различные химические реагенты, чаще всего 25 % водный раствор хлорида кальция [57, 103]. При применении данной добавки наблюдается снижение расхода воды.

Огнетушащий состав СО-К1 может использоваться для прокладки заградительных и опорных полос для отжига авиационными и наземными техническими средствами. Порошок светло-коричневого цвета, размер частиц – 0.25-0.50 мм. Отличительная особенность СО-К1 - возможность получения из доступного природного сырья (бентонитовая глина) с незначительными добавками, а также низкая стоимость по сравнению с составами, изготовленными на основе минеральных удобрений (диаммонийфосфат, карбамид и т. п.). Высокая вязкость раствора (0,5 Па·с) позволяет снизить потери на распыление при сливе его с авиационных технических средств. Состав относится к категории

“кратковременного действия”. Огнетушащий состав СО-К2 используют для прокладки заградительных полос с помощью наземных и авиационных технических средств. ОС-К2 - порошок белого цвета с размером частиц не более 0,5 мм. Отличительная особенность - возможность использовать местные технические отходы, обладающие огнезащитными свойствами, что позволяет снизить затраты при борьбе с лесными пожарами. Состав относят к категории “кратковременного действия”. Состав огнетушащий ОС-А1 предназначен для использования при тушении пожаров с самолетов и вертолетов, оборудованных специальными водосливными устройствами, путем прокладки с воздуха заградительных противопожарных полос, а также в наземных условиях с применением лесопожарных агрегатов, вездеходов и пожарных автоцистерн. ОС-А1 представляет собой сыпучий материал порошкообразной консистенции с размером частиц до 0,65 мм, хорошо растворяется в воде и применяется в виде 15-18 %-го водного раствора вязкостью 0,2-0,8 Па·с.

Анализ ранее выполненных исследований показал, что разработка универсального состава является сложной задачей. Добиться максимального использования всех механизмов прекращения горения в процесс тушения на практике крайне трудно. Вклад каждой составляющей можно менять, варьируя качественный и количественный состав препарата. Однако обычно вещества, в максимальной степени проявляющие одно из свойств огнетушащего воздействия, имеют невысокие показатели по другим механизмам тушения. Кроме того, для многокомпонентных систем возникают проблемы химической совместимости разнородных веществ и взаимного влияния составляющих огнетушащей композиции на свойства системы в целом. Химические соединения азотфосфоросодержащих веществ, наиболее часто используемые для создания составов длительного действия, являются антагонистами веществ, содержащих ПАВ (смачивающих, пенообразующих). Поэтому прямое добавление смачивателя в ОС длительного действия не даёт желаемого результата – его смачивающие свойства не увеличиваются пропорционально количеству вводимого компонента.

В рамках патентного поиска осуществлялся анализ запатентованных огнетушащих составов и способов, применяемых для тушения лесных пожаров, а затем производилось их сравнение, с выявлением недостатков. Изучая способ тушения пожара указанный в патенте №882404 [129], суть состоит в том, что в очаг горения подает огнетушащий состав, который содержит два компонента: гранулированное минеральное волокно и от 3 до 5 % (мас.) жидкого стекла. Оба компонента подаются одновременно при помощи воздушной струи. При смешивании компонентов состава на выходе из специального устройства, на горячей поверхности образуется покрытие, которое имеет огнетушащие и теплоизолирующие свойства. При этом толщина покрытия зависит от времени подачи компонентов. Недостатками этого способа является высокая вязкость жидкостного компонента огнетушащего состава, усложняющая процесс его подачи в очаг пожара, а также сложность удаления остатков огнетушащего состава после завершения пожаротушения.

В Авторском свидетельстве №1659014 [4] описан способ тушения пожара, в котором говорится, что предварительное смешивание равных объемов карбамидоформальдегидной смолы и 25% водного раствора кристаллогидратной соли $Al_2(SO_4)_3 \cdot 18H_2O$ на протяжении времени, необходимого для гелеобразования смеси, последующее смешивание полученного геля с водой в объемном соотношении (1,0-1,5):1,0 и подачу приготовленного огнетушащего состава в очаг пожара с образованием твердой пены на горячей поверхности. Недостатками этого способа являются большие затраты огнетушащего вещества, вследствие необходимости постоянно обеспечивать его пребывание на горячей поверхности. Огнетушащий состав предложен для тушения техногенных пожаров и о его возможном применении при тушении лесных пожаров ничего не указано, хотя некоторая перспектива в этом есть.

Анализируя состав для тушения пожаров в виде минерально-водяной суспензии, состоящей из жидкого стекла, глины и воды [127], предназначенный преимущественно для тушения природных пожаров можно выделить следующие

у него недостатки: сложный состав суспензии и сложность технологии ее приготовления.

Изучая способ тушения пожара [125] авторы предлагают применять двухкомпонентный состав, первый, - водный раствор силиката щелочного металла, а второй - коагулятор и катализатор гелеобразования, - водный раствор солей двухвалентных или многовалентных металлов. Раствор гелеобразователя выполнен в соотношении компонентов: силикат щелочного металла, например жидкое натриевое или калиевое стекло с силикатным модулем от 1,0 до 3,6, с массовым содержанием силиката от 3,5 до 25,0%, вода - все остальное, а второй раствор выполнен в соотношении компонентов: соль двухвалентного или многовалентного металла, например алюминия, железа (+3), титана (+3 или +4), магния (+2), кальция (+2) с массовым содержанием соли от 4,5 до 47,0%, вода - все остальное. Недостатком данного состава является двухкомпонентность раствора, один компонент которого состоит из силиката, а второй из коагулянта.

Анализируя информацию об испытаниях раствора [126], содержащего молотую глину, молотый асбест, хлорид натрия и воду. Сочетание компонентов в определенном соотношении обеспечивает получение эффективного, недорогого и удобного при эксплуатации водного состава. Недостатками известного состава являются: недостаточная огнетушащая эффективность при тушении лесных и торфяных пожаров; возможность подачи только путем сброса (слива); неспособность подавить тлеющие очаги горения лесной подстилки и тем более торфяных массивов; в силу фракционного состава и структуры огнетушащего раствора невозможность его применения в ранцевых установках пожаротушения; сложность получения готового раствора (требуется механизированный способ приготовления).

Авторы патента №2275951 [128] для тушения пожара предлагают огнетушащий состав, включающий воду в количестве 50-95 мас.% и в качестве загущающей добавки жидкое стекло с модулем 2,5-3,2 в количестве 5-50 мас.%. Дополнительно состав может содержать высокомолекулярное поверхностно-активное вещество в количестве 0,001-0,1 кг на один кубический метр воды в

растворе. Недостатком данного состава является большая концентрация раствора - до 50% по массе.

Повышение огнетушащих свойств для тушения лесных низовых пожаров возможно лишь при реализации всех возможных огнетушащих воздействий: охлаждения, изоляции и ингибирования. Так в работах [57, 181-189] предложены огнетушащие составы, обладающие одновременно смачивающими, пенообразующими и огнезащитными свойствами. В работе [99] предложено применение быстротвердеющей пены остановки распространения кромки низового пожара для защиты населенных пунктов. Данные о попытках применения огнетушащих составов, одновременно обладающих еще и огнезащитным действием в отечественной и зарубежной литературе чрезвычайно скудны. Применение таких огнетушащих веществ предполагает разработку новых методик для лабораторных и полевых исследований [19, 61, 63, 144], которые заключаются в возможно более близком приближении лабораторных и полевых условий к условиям протекания лесных низовых пожаров.

В отечественно научно-технической литературе найдена всего одна работа [57] посвященная реализации ингибирования горения при тушении лесных пожаров. Для этого предложено использование веществ обладающих огнеподавляющими свойствами – антипиренов, которые нашли широкое применение в производстве строительных материалов: древесины [73, 103] древесных плит [10]. Обработка горючих строительных материалов на основе древесины, древесной стружки, пластических масс. Обработка может быть осуществлена методом полива, опрыскивания, погружения материала в раствор, покрытие слоями трудногорючего полимера [3, 118] и т.п. Некоторые вещества, ингибирующие горение, например хлор, добавляют непосредственно на стадии получения пластических масс, например полистирол, поливинилхлорид [94] Применение антипиренов для предотвращения или тушения лесных пожаров в иностранной научно-технической литературе не обнаружено, тем не менее, проводится изучение процесса огнезащиты вспучивающихся материалов [177, 178, 180, 187, 189, 191], присутствия неорганических добавок к водным

растворам, выступающих в качестве ингибиторов горения [177, 178, 180, 187, 189, 192, 193], таких как соли аммиака, серной, фосфорной кислот, кремний-, магний-, бор-, железо-, цинк-, медь-, титан-содержащих веществ и т.п. Исследуется механизм огнеподавляющего действия, и предпринимаются попытки объяснить влияние добавок на процесс пиролиза твердых горючих материалов и выход низкомолекулярных горючих веществ [178, 190].

Серьезным ограничением широкого применения огнезащитных составов в природных ландшафтах является исследовательский характер работ с малым объемом информации о применении составов для тушения, а также отсутствии информации об исследованиях экологического воздействия ОТС на объекты живой природы.

1.5 Последствия лесных пожаров и их влияние на лесовосстановление и лесохозяйственную деятельность

Лесной пожар, как и любая другая чрезвычайная ситуация, обладает последствиями. Лесной массив выполняет несколько функций: товарную, агролесомелиоративную и экологическую. Товарная функция леса заключается в получении при его эксплуатации древесных и недревесных товарных продуктов. Агролесомелиоративная функция лесного массива заключается в снегозадержании, увлажнении воздуха, защите сельхозугодий от воздействия от суховея. Экологическая функция заключается в запасании углерода (см. п. 1.3.), выработке кислорода, очистки и увлажнении воздуха, смягчении климата. Среди всех функций леса на территории Саратовской области наиболее актуальна именно агролесомелиоративная и экологическая функции.

Последствия лесных пожаров обладают двумя формами *явной* и *неявной*. К *явным* последствиям относят: утрату древесины или ее товарной стоимости; потери прибыли лесозаготовительных и деревообрабатывающих предприятий; снижение качества древесины, появление дополнительных финансовых и материальных затрат на очистку горельника и восстановление лесного массива;

утрату недревесной продукции леса. Сравнительно нетрудно подсчитать, во что обойдется утрата лесом его товарной функции и лесовосстановление.

Выжигая ЛГМ пожар приводит к потере товарной древесины, изменению ее свойств в сторону ухудшения [167], несут потери и структуры эксплуатирующие недревесную продукцию леса (сенокосные площади, пастбища для скота, грибы, дикорастущие ягоды, лекарственные растения, мед, живица, древесный сок, древесная зелень, кора, береста), так помимо всего прочего снижается нектаропродуктивность лесных массивов и снижение выработки меда [13].

Гораздо более сложная ситуация складывается с *неявными* последствиями лесных пожаров. Понятие неявные отражает скрытый характер такого воздействия проявляющийся либо косвенно, либо в отдаленной перспективе. К неявным последствиям лесных пожаров относят: выбросы тепловой энергии, сажи и оксидов углерода в атмосферу; распад биогеоценоза или резкое снижение биоразнообразия в лесном ценозе после пожара; изменение химического и микробиологического состава лесной почвы; трудности в естественном и искусственном лесовозобновлении на горях; изменение анатомических характеристики строения ствола древовидных растений, снижения скорости прироста пораженных растений и динамики нижних ярусов растений; постпирогенная трансформация и деградация лесных массивов; массовое размножение насекомых-вредителей на горях и т.п. Лесной пожар приводит к потере запасенного углерода и негативному воздействию на атмосферу [23, 102, 151, 179]. Обнаруживается серьезное влияние пожаров на лесные экосистемы [97], так во время пожара биогеоценозы (как система взаимодействия почвы, растений и животных), как правило, частично или полностью распадаются [53], происходит трансформация лесных массивов [72], изменение их жизненного состояния [95], снижается биоразнообразие лесных ценозов [13, 109], неизбежно изменяется в сторону ухудшения живого напочвенного покрова [98, 165], задерживается размножение растений [23] деградирует экологическая составляющая в функции лесного массива [36]. Тепловое воздействие на почву ведет к изменению ее свойств [157] ее деградации и снижению продуктивности.

Несмотря на то, что после пожара почва обогащается калием, она неизбежно обедняется азотом и фосфором, т.к. их неорганические соединения являются летучими и при нагревании испаряются в атмосферу. Кроме этого, при пожаре гибнут бактерии, способные переработать и связать атмосферный азот (азотфиксирующие бактерии), поставляя его для питания растений. Активность массы микроорганизмов, населяющих почву, снижается [21, 22, 70, 179], резко снижается и скорость его восстановления [11, 91].

Деградация почвенного покрова неизбежно ведет к возникновению трудностей и задержкам при дальнейшем естественном или искусственном лесовосстановлении [64, 65, 89]. Снижается прирост и динамика диаметра стволов [66] и нижних ярусов древовидных растений [92], что заставляет исследовать условия для скорейшего восстановления лесных почв и напочвенного покрова [96], влияющих на выживаемость семян [66] и их всхожесть на горячих [111], являющихся важным начальным этапом лесовосстановления [167]. Решение указанных проблем ведет к необходимости совершенствования технологий выращивания посадочного материала на горячих [64] и в последствии восстановления допожарных характеристик лесного массива [11, 110]. Поврежденные древовидные растения – «питательная почва» для распространения болезней и размножения насекомых-вредителей [13], таких как короед-стенограф, непарного шелкопряда [21], и других листогрызущих и хвоегрызущих насекомых [13].

1.6. Устойчивость лесов к пожарам

За сотни и тысячи лет эволюции некоторые виды растений приспособились выживать в условиях пожаров, а некоторые виды как раз и используют пожар для роста и размножения. Например, низовые пожары повышают пожароустойчивость деревьев хвойных пород [16]. Воздействие пламени на древовидные растения вызывают повышение термоустойчивости растений и их фрагментов к воздействию пожара [66] и повышению выживаемости их при пожаре [70]. Пожар

уничтожает детрит, а вместе с ним и болезнетворные микроорганизмы и насекомых-вредителей, работники лесного хозяйства знают о таких полезных свойствах лесных низовых пожаров и время от времени их специально применяют.

Следует отметить, что условия природной среды могут как способствовать, так и препятствовать возникновению и/или распространению лесных пожаров [3, 17, 27]. Стечение определенных природных обстоятельств, а также антропогенных обстоятельств могут приводит к сдерживанию распространения кромки низового пожара или повышению выживаемости растительных организмов в условиях протекания низового пожара [31, 162]. К природным обстоятельствам можно отнести: видовой состав, возраст растений, уклон местности, влажность ЛГМ и т.п. Следует отметить, что все живое в природе меняется и подстраивается под складывающиеся условия, так происходит естественная адаптация лесов к изменениям [130]. Для оценки данных изменений разрабатываются специальные методики идентификации пожароустойчивости лесов [133], помогающие в подготовке лесных угодий к противопожарной защите и используются также для обеспечения противопожарного обустройства территорий техногенных объектов и населенных пунктов путем обустройства пожароустойчивых лесных полос [49].

К антропогенным обстоятельствам повышающим устойчивость лесов к пожарам является подбор пород растительных организмов для обеспечения их выживаемости в условиях пожара [2], деление лесных массивов на отдельные участки - кварталы [49], проведение несплошных рубок в лесных массивах [9], построение противопожарных барьеров [49] для предотвращения распространения низового пожара между лесными участками.

Выводы

В п. 1.1 диссертационной работы дано описание факторов, обуславливающих возникновение и распространение лесных пожаров, а именно запасам ЛГМ и условиям формирования пожарной опасности лесных массивов. Показано, что недостаточные объемы лесохозяйственных работ приводят к накоплению в лесах ЛГМ, что обеспечивает питательную почву для возникновения и развития лесного пожара.

Проанализирована тематика и современные достижения науки и техники в области борьбы с лесными пожарами, показано, что борьба с пожарами является важной научно-технической задачей, требующей совершенствования технических средств и технологических приемов, из-за роста антропогенной нагрузки на лесные массивы и, тем самым, пожарной опасности в лесах.

В п. 1.2 проанализированы статистические данные и сформулированы особенности возникновения, и развития лесных пожаров в Саратовской области. Показано, что на территории Саратовской области лесные пожары приводят к труднопоправимым последствиям из-за географических и климатических условий. Учитывая описание географического местоположения района исследования по территории Саратовской области, проходит граница леса и степи, условия в которой неблагоприятны для роста и развития лесов, а вероятность возникновения лесных пожаров велика, как и их последствия для лесовосстановления и лесоразведения.

В п. 1.3 обсуждается вопрос условий возникновения лесных пожаров и подходам к моделированию вероятности их возникновения, развития и возможных последствий. Показано, что к естественным процессам возникновения пожаров можно отнести только сухие грозы (2%), явления довольно редкие, но из-за изменения климата, в сторону потепления, происходящие, в настоящее время, все чаще. Абсолютное большинство (98%) случаев возникновения пожаров - это либо умышленные, либо не умышленные действия человека, находящегося в лесном массиве. Возможности современного физико-математического аппарата, применяемого для моделирования лесных пожаров пока не позволяют вычислить

время и место его возникновения, возможно лишь определить наиболее вероятные области его возникновения, вероятность перехода низового пожара в верховой (по данным погоды), направление распространения, скорость распространения, время подхода кромки лесного пожара к объекту, оценить ущерб от пожара.

В п. 1.4 диссертационной работы анализируются вопросы устойчивости лесов и лесонасаждений к пожарам, и применение сведений об устойчивости для создания огнезащитных лесных полос, а также создания технологий обустройства лесного массива повышающим его устойчивость к лесным низовым пожарам и проведения профилактических мероприятий в лесных массивах. К важным факторам борьбы с лесными пожарами является своевременное обнаружение возникновения лесного пожара, к чему, в настоящее, время привлекаются, наряду с другими способами, системы видеонаблюдения за состоянием лесов, беспилотные летательные аппараты и спутниковый мониторинг. Проведен анализ разработанных средств и способов лесного пожаротушения показано, что, пока, учеными России и мира уделяется сравнительно мало внимания разработке новых огнетушащих и огнезащитных составов с целью их применения для тушения лесных пожаров.

В п. 1.5 проведен анализ последствий лесных пожаров и их дальнейшее влияние на природу, и хозяйственную деятельность человека. Показано, что лесной пожар обладает явными и неявными последствиями, последние обладают скрытым характером и проявляются в отложенной перспективе.

В п. 1.6 диссертационной работы анализируются состояние растительности Саратовской области и их роль в обеспечении возникновения и развития лесных низовых пожаров.

2 МАТЕРИАЛЫ, МЕТОДЫ И МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОГNETУШАЩЕГО И ОГНЕЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ

2.1 Исследование метеоусловий для проведения лабораторных и полевых экспериментов

Оборудование: Метеоскоп-М (ООО “НТМ-Защита”, Россия), погодный журнал.

Методика. Для проведения исследований по возникновению и распространению природных низовых пожаров необходимо, чтобы погодные условия при проведении экспериментов максимально близко соответствовали условиям пожароопасного периода в регионе. Пожароопасный период обычно характеризуется максимально низкой влажностью воздуха и почвы, из-за высоких среднесуточных температур и малого количества осадков (или их полного отсутствия) в течение более чем 30 дней. Такие метеоусловия соответствуют установившемуся над территорией антициклону.

Метеоусловия в лабораторных и полевых экспериментах оценивали с помощью прибора - Метеоскоп-М (ООО “НТМ-Защита”, Россия), который позволяет одновременно измерять четыре параметра: температуру воздуха, влажность, скорость ветра и атмосферное давление. Замеры этих параметров, при проведении полевых экспериментов, осуществлялись несколько раз в день перед и после проведения каждого отдельного эксперимента. При проведении лабораторных экспериментов в закрытом помещении исследование метеоусловий проводили каждый рабочий день, перед проведением экспериментов и после их проведения. По данным районной метеослужбы проводился анализ погодных режимов района исследования, погодные данные записывались в специальный журнал, проводилась оценка влияния погодных режимов на пожарную обстановку в лесах района исследований.

Кроме этого, при проведении полевых испытаний исследовалась влажность почвы. Для этого раскапывался шурф глубиной 0,5 м, из которого доставали

фрагмент грунта, который растирался между пальцами и отслеживался процесс разрушения кома грунта в мелкую пыль. К тому же, в течение экспериментального дня проводилось наблюдение за местностью в поисках признаков пылеобразования – порывы ветра, дующие в приземном слое атмосферы, при низкой влажности поднимаю с поверхности почвы облака пыли.

2.2 Методика исследования запасов природных горючих материалов и видового состава растительности на экспериментальных участках

Оборудование: штыковая лопата – 2 шт., грабли садовые - 2 шт., рулетка – 1 шт., мешок полиэтиленовый – 6 шт., электронные весы-безмен.

Методика. Для оценки запасов природных горючих материалов на экспериментальных участках было проведено их исследование на площади предполагаемого модельного пожара. Для этого участки площадью 0,8×0,9 м (0,5×0,5 м т.п.) полностью очищались от растительности и растительных остатков, сохранившиеся с предыдущего сезона до обнажения минерального слоя почвы (рисунок 2.1).

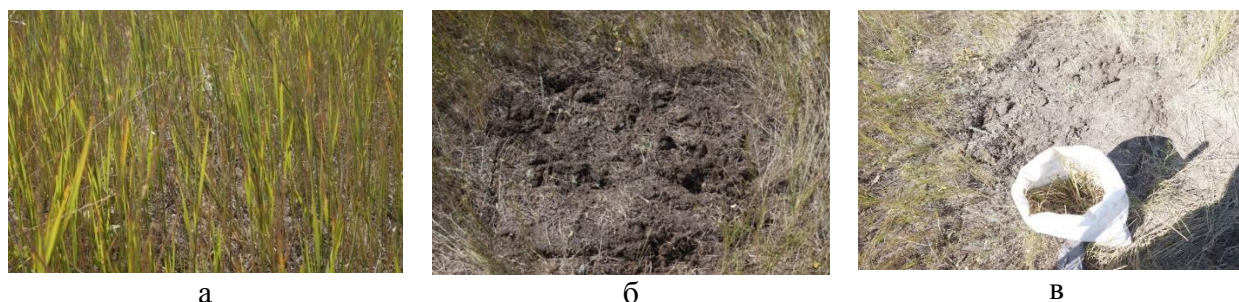


Рисунок 2.1 - Экспериментальный участок (а) и сбор с его поверхности растений и растительных остатков (б,в)

Убранные с участка растения и растительные остатки складывались в мешок, а затем взвешивались на весах-безмене, за вычетом веса мешка. Полученную массу пересчитывали на 1 м² площади почвенного покрова и усредняли.

Для оценки видового состава растительного покрова почвы, собирали пучок травянистых растений раскладывался на столе из него выбирали отдельные растения и по [6] определяли их принадлежность к тому или иному виду.

2.3 Выбор огнетушащих и огнезащитных составов и методика приготовления растворов при проведении лабораторных и полевых экспериментов

Оборудование: весы аналитические (AndGh-200, погрешность 1 мг, Япония); весы электронные технические (кухонные), пластиковая тара объемом 0,5÷5 л.

Материалы: водопроводная вода, соединения многовалентных элементов: алюминия, магния, бора. Кроме этого, для выявления огнетушащей активности были применены сода, сульфат натрия и хлорид натрия. Все применяемые в исследовании вещества обладают высокой растворимостью в воде при комнатной температуре [115]. Исходные данные представлены в таблице 2.1.

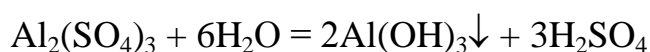
Таблица 2.1 - Данные по растворимости исследуемых веществ в воде [115]

Вещество	Формула	Растворимость в воде, г/л	Вещество	Формула	Растворимость в воде, г/л
Сульфат алюминия	$Al_2(SO_4)_3$	342	Сода (каустическая)	Na_2CO_3	218
Хлорид магния	$MgCl_2$	546	Сульфат натрия	Na_2SO_4	497
Тетраборат натрия (бура)	Na_4BO_4	32	Хлорид натрия	$NaCl$	359

Соединения алюминия и магния способны образовывать гидрогели при гидролизе из солей в водном растворе. Известно [114], что водные растворы солей алюминия и магния в воде не существуют, т.к. практически мгновенно подвергаются гидролизу с образованием нерастворимых гидроксидов, которые кристаллизуются и выпадают в осадок на дно реакционного сосуда. Тем не менее, при образовании молекулярного гидроксида перед формированием

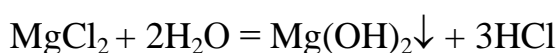
кристаллической структуры происходит формирование гидрогеля (соединения гидроксида элемента с водой) как промежуточная стадия. Визуально это можно наблюдать по помутнению раствора. Гидрогель нестабилен и в течение непродолжительного промежутка времени разрушается, образуя кристаллическую фазу.

Сульфат алюминия был выбран в качестве объекта исследования, т.е. является дешевым (10 руб./кг) многотоннажным отходом производства алюминия. Данное вещество применяется в процессе водоподготовки - очистки воды от органических соединений, путем их высаливания (коагуляции) [171], причем чем выше валентность химического элемента, тем выше эффективность процесса. Гидролиз сульфата алюминия можно представить следующим уравнением реакции [114]:



Образование гидроксида алюминия - $\text{Al}(\text{OH})_3$, - как раз и сопровождается образованием гидрогеля алюминия. Необходимо обратить внимание, на то, что кроме гидроксида алюминия в качестве побочного продукта химической реакции образуются серная кислота (H_2SO_4). Последняя при использовании в качестве растворителя водопроводной (или природной) воды вступит во взаимодействие с растворенными в ней ионами натрия (Na^+) и образует сульфат (Na_2SO_4) или гидросульфат (NaHSO_4) натрия. Возможно, они также обладают огнетушащей способностью поэтому и включены в качестве самостоятельных компонентов при исследовании (табл. 2.1).

Хлорид магния согласно литературным данным [40, 137] обладает одновременно двумя химическими элементами (магнием и хлором) участвующим в подавлении горения на молекулярном уровне. Гидролиз хлорида магния можно представить следующим уравнением реакции [113]:



Образование гидроксида магния - $\text{Mg}(\text{OH})_2$ - также сопровождается образованием гидрогеля магния. Необходимо, также обратить внимание, на то, что кроме гидроксида магния в качестве побочного продукта химической реакции

образуются соляная кислота (HCl). Последняя при использовании в качестве растворителя водопроводной (или природной) воды также вступит во взаимодействие с растворенными в ней ионами натрия (Na^+) и образует хлорид натрия (NaCl). Возможно, он также обладает огнетушащей способностью поэтому и включен в качестве самостоятельных компонентов при исследовании (табл. 2.1).

Гидролиз солей алюминия и магния происходит в щелочной среде ($\text{pH} > 7$), причем чем выше щелочность среды, тем быстрее происходит гидролиз. Для ускорения процесса гидролиза его можно проводить не в воде, а в водном растворе соды: бикарбоната натрия (Na_2CO_3) или гидрокарбоната натрия (NaHSO_4). В этом случае, в растворе появиться еще один компонент, который тоже потенциально может обладать огнетушащим эффектом. Бикарбонат натрия (Na_2CO_3) также включен в список объектов для исследования (табл. 2.1).

Тетраборат натрия (*бура*) – $\text{Na}_4\text{B}_4\text{O}_7$ согласно литературным данным [146] обладает высокой огнеподавляющей активностью, хорошо растворяется в воде (табл. 2.1) [115]. В отличие от солей алюминия и магния гидролизу в воде не подвергается и образует устойчивые водные растворы, пригодные для длительного хранения.

Остальные соединения натрия – бикарбонат, сульфат, хлорид выбраны для сравнения их огнеподавляющих свойств со свойствами соединений алюминия, магния и бора. Все соединения образуют с водой стабильные растворы, способные храниться длительное время. Из перечисленных соединений ограниченной растворимостью в воде обладают только бикарбонат натрия (каустическая сода, *техн*) - Na_2CO_3 (табл. 2.1.) и хлорид натрия, поэтому в ходе экспериментов использовали их насыщенные растворы. Насыщенный раствор готовится следующим образом в объем воды (к примеру, 5 л) добавляют массу вещества заведомо большую чем максимальное количество способное раствориться в данном объеме. Затем смесь взбалтывают и дают отстояться в течение длительного времени (12 часов), а потом используют для проведения эксперимента водный раствор, находящийся над твердым не растворившимся осадком. Интенсивное перемешивание и длительное хранение приводит к

образованию водного раствора, находящегося в равновесии с не растворившимся веществом.

Методика. Для приготовления растворов была выбрана наиболее простая и применимая в лабораторных и полевых условиях методика. Навеску исследуемого вещества взвешивали на аналитических (для лабораторных исследований) и технических (для полевых исследований) весах в граммах. Затем переносили навеску вещества в объем воды (0,5 л; 1 л; 1,5 л; 2 л; 5 л) в результате получали концентрацию раствора, выраженную в граммах на 1 литр воды (г/л). В качестве растворителя использовали водопроводную воду, которая по своему минеральному составу мало отличается от природной воды, но она свободна от механических примесей и большого количества органических примесей. Удобство такого выражения состава раствора и способа его приготовления связано с несколькими соображениями: (1) простота процедуры взвешивания с использованием современных электронных весов, являющихся энергонезависимыми (собственные батареи или аккумуляторы), кроме этого, точность таких весов даже если она ± 1 гр. является избыточной точностью при проведении полевых экспериментов и, тем более, для приготовления исследуемых смесей для применения их при реальном тушении пожара. Емкости объемом 0,5÷5 литров также доступны в любом населенном пункте – пластиковые емкости для жидкостей, воды, соков, напитков и т.п., что не требует применения специальной лабораторной посуды. Кроме этого, предложенные пластиковые емкости являются ударостойкими и выдерживают длительное хранение и перевозки.

Единственным ограничением, накладываемым на оператора, который будет заниматься приготовлением растворов является то, что он должен определять массу навески исходя из объема воды, используемого для приготовления раствора. Так во всех справочниках [115], растворимость указана в граммах на 100 грамм воды (гр./100 гр. воды), реже растворимость указывается в граммах на литр (г/л). Тогда для вычисления массы навески необходимо пользоваться формулой:

$$m_{\text{навески}} = S \cdot V \text{ (г)}, \quad (2.1)$$

где S – концентрация вещества в воде (г/л), V – объем выбранной емкости (л).

Объемы экспериментальных установок таких как ранцевый огнетушитель РП-15 «Ермак» (Россия) составляет 15 литров (или три емкости для воды по 5 литров) и садовый опрыскиватель типа «ЖУК» [119] вмещает в себя 5 литров воды.

2.4 Исследование устойчивости гидрогелей во времени для обеспечения мероприятий по противопожарной защите природных ландшафтов и тушению низовых пожаров

Оборудование: тара стеклянная прозрачная бесцветная 1÷2 л, весы электронные технические (кухонные).

Материалы: сульфат алюминия (техн.), хлорид магния (ч.д.а.), водопроводная вода.

Методика: Сульфат алюминия обладает высокой растворимостью в воде – 342 г/л [115]. При помещении твердого сульфата алюминия в водопроводную воду в исследуемом диапазоне концентраций он растворяется при перемешивании очень быстро, в течение 10-30 секунд. По истечению данного времени наблюдается помутнение раствора (потеря прозрачности) – образование гидрогеля алюминия, который представляет собой коллоидный раствор, состоящий из дисперсной фазы и дисперсионной среды [114]. Образование гидрогеля представлено на рисунке 2.2.



Рисунок 2.2 - Получение гидрогеля в полевых условиях

После тщательного перемешивания раствора на часах засекали время приготовления раствора и затем наблюдая за процессом восстановления прозрачности раствора фиксировали время существования гидрогеля.

2.5 Методика исследования эффективности действия огнетушащего вещества в лабораторных условиях

Оборудование: лабораторный стенд, поддон для горючей смеси, секундомер, электронные весы-безмен, весы электронные технические (кухонные), тара пластиковая объемом 5л – 6 шт., огнетушитель ранцевый РП-15 «Ермак» (Россия) – 2 шт., боевая одежда пожарного 2 комплекта, шлем пожарного – 2 шт., видеокамера цифровая.

Материалы: бруски деревянные (хвойных пород – сосна) 40×40×500 мм, сульфат алюминия, бикарбонат натрия, сульфат натрия, хлорид натрия, водопроводная вода.

Методика: В качестве объекта моделирующего ЛГМ был использован искусственный очаг горения [50] - деревянный штабель в форме куба, состоящий из деревянных брусков сечением 40х40 мм и длиной 500 мм сложенный на лабораторном стенде, представляющим собой металлический каркас размером 500х500 мм и высотой 500 мм (рис. 2.3).



Рисунок 2.3 – Лабораторный метод исследования эффективности тушения

Каркас устанавливается горизонтально, на ровной площадке, внизу под штабель помещается металлический поддон соответствующего размера, таким образом, чтобы внешние границы штабеля и поддона совпадали. Для розжига искусственного очага горения используется автомобильный бензин объемом 1÷1,5 л. Бензин наливают в поддон поверх слоя воды, предварительно залитой в нее слоем толщиной 30 мм. Бензин поджигается с помощью факела. Образовавшееся пламя в течение 6-7 минут поджигает штабель, признаком полноты поджога является полный охват пламенем всего штабеля. С этого момента начинался процесс тушения: огнетушащее вещество подавалась в зону

горения до тех пор, пока не удавалось погасить пламенное горение полностью. Тушение осуществлялось путем подачи огнетушащего состава в зону горения с помощью лесного ранцевого огнетушителя РП-15 «Ермак» (Россия) (рис. 2.4 и 2.5).



Рисунок 2.4 - Ранцевый огнетушитель РП-15 «Ермак»



Рисунок 2.5 - Тушение штабеля

После того как со штабеля удалось сбить пламя, секундомером засекается время возможного повторного появления открытого пламени. Максимальное время повторного возникновения пламени выбирается 10 минут, т.е. если в течение 10 мин. пламенное горение в штабеле вновь не возникнет эксперимент считается завершенным. Если повторное горение вновь возникало через промежуток времени менее 10 мин., то процесс тушения повторяли и после этого время ожидания обнулялось и так далее.

Эксперимент позволяет измерить четыре параметра: (1) расход огнетушащего состава (кг); (2) время, пошедшее на тушение (с); (3) количество актов дотушивания; (4) общее время тушения с учетом времени, затраченного на дотушивание. Расход огнетушащего состава определяли по убыли массы ранцевого огнетушителя до проведения эксперимента и после него на ручных электронных весах-безмене. Остальные параметры определялись исходя из

анализа видеозаписи эксперимента, которая проводилась на цифровую видеокамеру.

Эксперимент проводился при различных: влажностях древесины (от свежесрубленной до суховоздушной), влажностях воздуха (30-50%) и температурах воздуха, измеренных в тени (20-35 °С). Тушение осуществлялось не менее трех раз (для каждого типа огнетушащего состава) для исключения грубых промахов и расчета коридора ошибок.

2.6 Методика исследования эффективности действия огнетушащего вещества в полевых условиях

Оборудование: аппарат зажигательный АЗ-4 «Ермак» (Россия) - 1 шт., ранцевый огнетушитель РП-15 «Ермак» (Россия) – 2 шт., электронные весы-безмен, весы электронные технические (кухонные), тара пластиковая объемом 5л – 12 шт., огнетушитель ранцевый РП-15 «Ермак» (Россия) – 2 шт., боевая одежда пожарного 2 комплекта, шлем пожарного – 2 шт., видеокамера цифровая.

Материалы: сульфат алюминия, тетраборат натрия - бура, водопроводная вода, смесь бензина и дизельного топлива 1:2.

Методика. В качестве экспериментальных были выбраны участки почвы, характеризующиеся разнотравьем. Для обеспечения устойчивого горения и формирования условий близких к условиям устойчивого низового пожара участки выбирались с равномерным травостоем с высотой 0,3-0,4 м. Примеры экспериментального участка и способа измерения травостоя представлены на рисунке 2.6.



Рисунок 2.6 - Экспериментальная местность и способ измерения высоты травостоя

Участки местности размечали вешками, устанавливаемыми через равные расстояния 1 или 2 метра друг от друга (делили экспериментальный участок на секторы) для оценки скорости распространения пламени по секторам, определения ширины кромки пожара, высоты пламени, а также оценки равномерности распространения пламени (рис. 2.7).



Рисунок 2.7 – Разметка экспериментального участка

Площадь экспериментального участка всегда была большей, чем площадь участка, поделенная на секторы (рис. 2.7). Это создавалось для того, чтобы каждый экспериментальный участок имел зону розжига, которую можно

ориентировать по направлению ветра, т.е. экспериментальные секторы окружались со всех сторон зоной розжига шириной 2 м.

Размеры участков выбирались таким образом, чтобы запаса огнетушащего состава (ОТС) в ранцевом огнетушителе было заведомо больше, чем необходимо для его тушения. В целях недопущения потери контроля над кромкой низового пожара все участки были опашаны (рис. 2.8), т.е. по периметру всех участков создавалась минерализованная полоса шириной не менее 1,5 м, кроме этого при исследовании горения и тушения на месте проведения экспериментов всегда присутствовал дополнительный оператор тушения с ранцевым огнетушителем заполненным водой, на случай экстренного тушения при потере контроля за процессом горения.

При проведении эксперимента зона розжига подготовленного участка, располагавшаяся с наветренной стороны, поджигалась с помощью зажигательного аппарата. Оператор тушения наблюдал за распространением пламени по зоне розжига и когда кромка низового пожара достигала экспериментальных секторов приступал к процессу тушения. Тушение продолжалось до полного исчезновения пламенного горения на территории экспериментального участка. Затем засекалось время (15 мин), в течение которого производилось наблюдение за экспериментальным участком на предмет повторного возникновения пламенного горения.



Рисунок 2.8 - Опашка участка

Для определения расхода ОС с помощью ручных электронных весов-безмена определялась разница в массе ранцевого огнетушителя до и после проведения эксперимента. Все экспериментальные зоны горения имели самую разнообразную криволинейную форму своих кромок, поэтому площадь и длину периметра таких участков вычисляли по модели площади и длины периметра эллипса (рис. 2.9) [63].

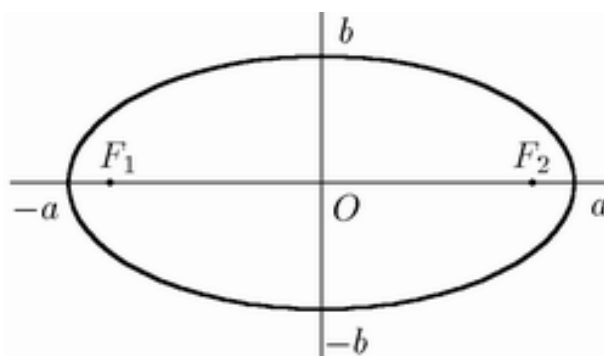


Рисунок 2.9 - Эллипс

Использовали модель расчета по полуосям. Для этого определяли центр зоны горения и измеряли ее длину и ширину. Затем используя формулу 2.1, рассчитывали площадь эллипса

$$S = p_i \cdot a \cdot b, \quad (2.1.)$$

где a – длина большой полуоси, м; b – длина малой полуоси, м.

Периметр эллипса рассчитывали по формуле

$$P = \frac{4 \cdot (p_i \cdot a \cdot b + (a-b))}{(a+b)} \quad (2.2)$$

где a – длина большой полуоси, м; b – длина малой полуоси, м.

Производя отнесения общего расхода ОС к площади и длине периметра, получали расход ОС килограмм на квадратный метр ($\text{кг}/\text{м}^2$) и килограмм на 1 метр длины кромки низового пожара ($\text{кг}/\text{м}$).

2.7 Методика исследования действия огнезащитных составов на пожароопасные свойства растительных материалов в лабораторных условиях

Оборудование: вытяжной шкаф, примус туристический, лабораторные весы (аналитические) AND Gh-200 (погрешность 1 мг), тара ($5 \div 10 \text{ см}^3$) штатив лабораторный, секундомер, линейка металлическая 30 см.

Материалы: опытные образцы - деревянные рейки 10x10 мм, льнопеньковый шпагат, баллон с пропан-бутановой смесью, сульфат алюминия (техн.), хлорид магния (ч.д.а.), тетраборат натрия – *бура* (х.ч.), хлорид натрия (ч.д.а.).

Методика. Экспериментальное исследование заключалось в имитации воздействия источника зажигания на образцы древесного материала (рейки) или волокнистого материала (льнопенькового шпагата) до возникновения на экспериментальном образце устойчивого горения. В качестве источника обогрева использовался примус газовый туристический, в котором сжигалась пропан-бутановая смесь. В ходе исследований осуществлялся экспериментальный поиск оптимальных условий, для их проведения:

1) Опытный образец закреплялся над газовой горелкой в горизонтальном положении, для равномерного распределения температуры от источника воспламенения, на расстоянии, соответствующему оптимальному значению времени для проведения эксперимента, выявленным экспериментальным путем (рис. 2.10).

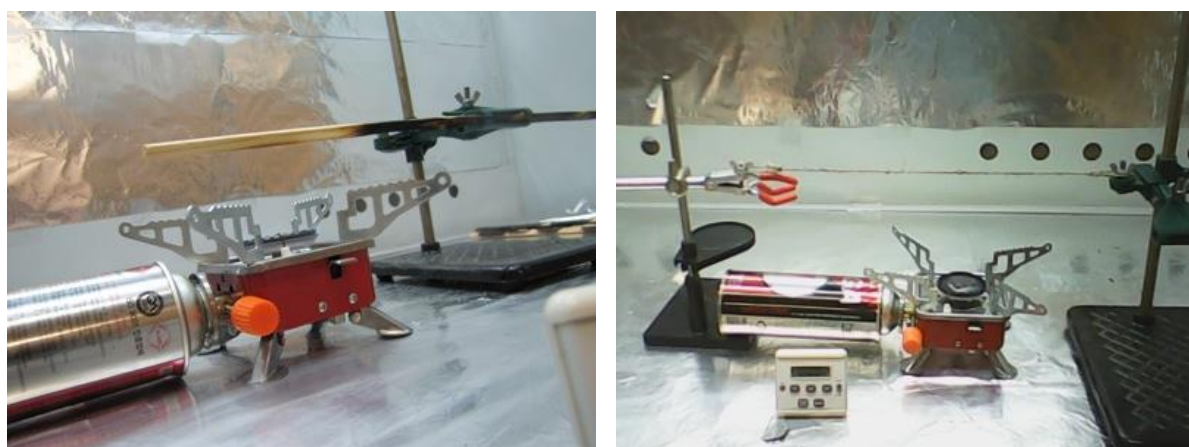
2) Было определено экспериментальное время, при котором испытуемый образец воспламенялся при обогреве.



Рисунок 2.10 - Экспериментальная установка и определение оптимального расстояния исследуемого образца от зоны горения

Для этого экспериментальный образец, не обработанный раствором антипирена (деревянная рейка или льнопеньковый шпагат) закрепляли на штативе над источником воспламенения (газовой горелкой примуса). При этом устанавливался минимальный режим расхода пропан-бутановой смеси, обеспечивающий устойчивое горение. Касание пламени экспериментальным образцом в ходе эксперимента не допускалось (рис. 2.10).

Обогрев образцов осуществлялся разогретыми продуктами горения пропан-бутановой смеси. В качестве сравнения использовались образцы древесных и волокнистых материалов, не подвергшиеся обработке (рис. 2.11).



а

б

Рисунок 2.11 - Испытания огнестойкости древесных и волокнистых материалов

(а- деревянная рейка, б- льнопеньковый шпагат)

Для проведения эксперимента готовились растворы соответствующих концентраций. Для этого были произведены расчеты навески сухого вещества. Навеску сухого вещества взвешивали на лабораторных аналитических весах AND Gh-200 (погрешность 1 мг) («A&D», Япония), помещали в стакан (5-10 см³) с водопроводной водой, тщательно перемешивали (рис. 2.12).



Рисунок 2.12 - Взвешивание сухой навески вещества и приготовление растворов различной концентрации

Экспериментальные образцы обрабатывались растворами антипиренов на основе алюминия и магния, бора и натрия с различными концентрациями (диапазон концентраций 1,7-52 г/л). Обработку экспериментальных образцов раствором антипиренов наносили с помощью кисти. Такой способ нанесения позволял определить массу раствора, перенесенную на экспериментальный образец, что не позволяет сделать метод опыскивания. Перед и после обработки экспериментального образца тара с раствором взвешивалась на аналитических весах и по разнице в убыли массы определялось количество перенесенного раствора и, следовательно, растворенного вещества. Готовились 2 группы образцов, одна группа подвергалась однократной обработке раствором исследуемого вещества, другая – двукратной обработке. Обе группы образцов перед проведением эксперимента сушили на воздухе в течение 12 часов (рис. 2.13).

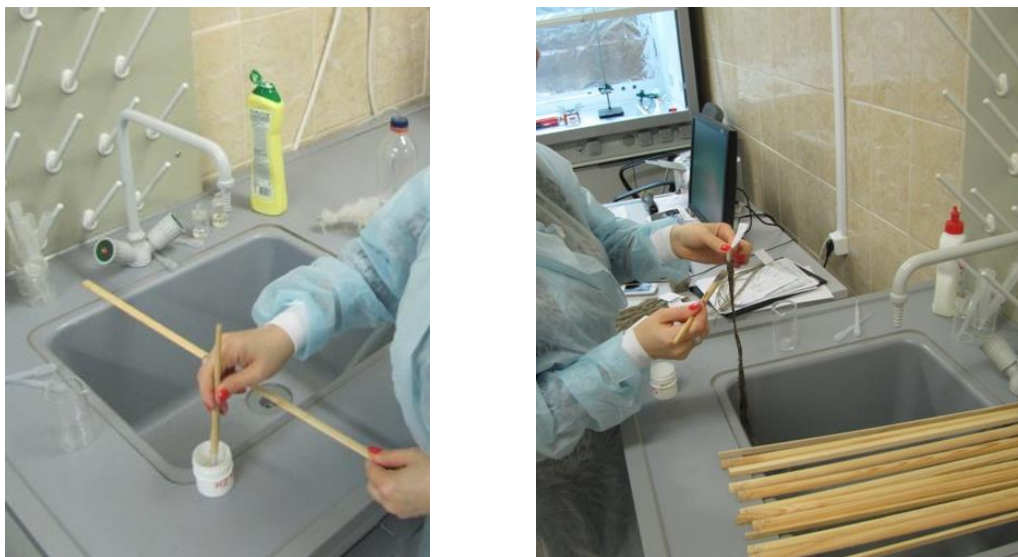


Рисунок 2.13 - Обработка образцов (деревянных реек и льнопенькового шпагата) растворами огнезащитных составов

Данный эксперимент позволяет изучить огнестойкость лесного древесного горючего материала до и после его обработки антипиренами различной концентрации. При этом выявить оптимальные условия, при которых огнестойкость лесного древесного горючего материала можно повысить в разы, используя для этого минимальное количество реагентов.

2.8 Методика исследования действия огнезащитных составов на пожароопасные свойства растительных материалов в полевых условиях

Оборудование: зажигательный аппарат АЗ-4 «Ермак» (Россия), садовый опрыскиватель ОП-209 «Жук» (Россия), ранцевый огнетушитель РП-15 «Ермак» (Россия) – 2 шт., боевая одежда пожарного – 1 комл., шлем пожарного – 1 шт., тара пластиковая 5л – 12 шт., электронные весы технические; вешки деревянные, шнур синтетический – 500 м, видеокамера цифровая.

Материалы: сульфат алюминия (техн.), тетраборат натрия - бура (х.ч.), вода водопроводная, смесь бензина и дизельного топлива 1:2.

Методика. В качестве экспериментальных были выбраны участки почвы, с равномерным травостоем с высотой 0,3÷0,4 м. В целях соблюдения правил

пожарной безопасности все участки были опаханы, т.е. по периметру всех участков создавалась минерализованная полоса шириной не менее 1,5 м. Внутри участка были сформированы секторы обработки площадью 1 и 4 м² (1×1 м и 2×2 м), для выделения этих зон границы обрабатываемых участков обозначались колышками, между которыми натягивались капроновые нити (рис. 2.14).



Рисунок 2.14 - Экспериментальный участок для исследования огнезащитных свойств разных химических составов для случая фронтального движения пламени

В целях обеспечения пожарной безопасности все экспериментальные участки были опаханы с шириной минерализованной полосы не менее 1,5 метра. Кроме этого, перед проведением огневого эксперимента были заготовлены и заправлены два ранцевых огнетушителя, на случай потери контроля за проведением эксперимента, а один из экспериментаторов находился в состоянии готовности для экстренного тушения. Обработка участков осуществлялась с помощью садового опрыскивателя типа «Жук» ОП-209 (рис. 2.15) с расходом жидкости 0,6 - 0,8 л/мин [119].



Рисунок 2.15 - Процесс обработки (опрыскивания) экспериментальных секторов огнезащитными составами на основе алюминия и бора

Для удобства обработки экспериментальных участков расход растворов составил 1 л/м^2 . Опрыскивание участков осуществлялось по следующей схеме. Сначала опрыскивали участки с большой концентрацией ГА (28 г/л) и буры (56 г/л), а затем переходили к применению менее концентрированных растворов. Для выявления влияния влажности помимо контрольного участка (не подвергавшегося обработке) один из участков был обработан водопроводной водой без каких-либо добавок с тем же расходом (1 л/м^2), причем данный участок обрабатывался последним. После обработки экспериментальные участки подвергали сушке в течение 1 часа, а также в течение 12 часов (т.е. до следующего дня). Поджог участков травяного покрова осуществлялся по направлению ветра с помощью аппарата зажигательного АЗ-4 «Ермак» (Россия). Пролив горячей жидкости осуществлялся на участок травяного покрова, не подвергавшегося обработке (сектор розжига) и находящегося перед экспериментальными секторами (с наветренной стороны). По мере формирования кромки низового пожара на секторе розжига его фронт под действием ветра распространялся в экспериментальную зону. В отдельных случаях для усиления горения (имитация высохшего травостоя) на сектор розжига добавлялась сухая солома из расчета $250\text{-}300 \text{ г/м}^2$. Для выявления способности (или неспособности) обработанных огнезащитными составами участков (огнезащитных полос) противостоять распространению низового пожара были проведены эксперименты

двух типов: (1) с фронтальным движением пламени – экспериментальные секторы располагались поперек направления кромки низового пожара (рис. 2.16) и (2) с фланговым движением пламени, в этом случае экспериментальные участки располагались вдоль направления движения пламени (рис. 2.17). Такой принцип проведения полевого эксперимента должен был показать наличие влияния огнезащитного состава на скорость распространения кромки низового пожара и наличие принципиальной преодолемости такого огнезащитного барьера при определенных условиях внешней среды. Следует отметить, что при проведении эксперимента второго типа проводили последовательное увеличение концентрации раствора огнезащитного состава, чтобы выявить возможные изменения характера горения по мере движения кромки пожара по необработанным и обработанным участкам, а также возможное место остановки пламени (рис. 2.18).

Сектор 1	Сектор 2	Сектор 3	Сектор 4	Сектор 5	Сектор 6	Сектор 7	Сектор 8
↑ Сектор розжига ↑							

Рисунок 2.16 - Схема расположения экспериментальных секторов при фронтальном движении низового пожара. Стрелками указано направление движения кромки низового пожара

→ Сектор розжига →	Сектор №1	Сектор №2
--------------------------	-----------	-----------

Рисунок 2.17 - Расположение экспериментальных секторов, обработанных ГА при фланговом распространении низового пожара. Стрелками указано направление распространения пламени

→ Сектор розжига →	Сектор №4	Сектор №5	Сектор №6
	Сектор №1	Сектор №2	Сектор №3

Рисунок 2.18 - Расположение экспериментальных секторов, обработанных ГА при фланговом распространении низового пожара. Стрелками указано направление распространения пламени

2.9 Методика исследования огнестойкости лесных горючих материалов в полевых условиях

Оборудование: лампа паяльная ГУБ-1700 (Калибр, Россия), садовый опрыскиватель ОП-209 «Жук» (Россия), ранцевый огнетушитель РП-15 «Ермак» (Россия) – 2 шт., боевая одежда пожарного – 1 комл., шлем пожарного – 1 шт., тара пластиковая 5л – 12 шт., видеокамера цифровая.

Материалы: пропан-бутановая смесь (баллонах), солома суховоздушная (прошлогоднего сбора), вода водопроводная.

Методика. Для проведения исследований выбирались секторы, проявившие свою устойчивость к действию кромки низового пожара. Для исследования и дополнительного подтверждения их огнестойкости с центр экспериментального сектора помещали пучок сухой соломы массой 150-200 г и поджигали его с помощью газовой паяльной лампы (температура горения до 1200 °С, тепловой поток до 1700 Вт/м²). Принципиальный отказ применять зажигательную смесь (бензин-дизельное топливо 1:2) заключался в том, что естественный процесс воспламенения лесных горючих материалов происходит без присутствия углеводородов нефтяного происхождения. Таким образом, данный эксперимент имитировал попадание на территорию, покрытую травяным покровом источника зажигания, перенесенного по воздуху ветром, дующем в приземном слое атмосферы. При возникновении воспламенения и самостоятельного горения соломы производилось дальнейшее наблюдение за формированием и распространением кромки низового пожара в выбранном экспериментальном секторе и его возможный переход в другие экспериментальные секторы.

2.10 Методика технико-экономического обоснования построения минерализованных и огнезащитных полос

Минерализованная полоса – это искусственно созданный противопожарный барьер. Он создается путем очистки линейного участка территории, граничащего с лесным массивом, от горючих материалов. Как правило, это делается механизированным способом: производится вспашка трактором грунта на определенную ширину. Минеральный слой почвы оголяется, а дерн, трава, хвоя, листья и прочие материалы, способные гореть, в процессе этого присыпаются землей. При очаговых возгораниях такая вспаханная полоса препятствует распространению низового пожара на другие участки лесного массива [85].

Кроме того, согласно Правилам пожарной безопасности, в лесных массивах Российской Федерации, минерализованные полосы создаются на сезон пожарной активности на лесосеках оставленными с лесопродукцией или порубочными остатками и вокруг лесосек, и вдоль лесовозных дорог, железнодорожных дорог, на сельскохозяйственных площадях, граничащих с лесом (в период сжигания остатков соломы и стерни), вокруг складов, содержащих лесоматериалы, пиломатериалы и вокруг других пожароопасных объектов [139]. Прокладывать минерализованную полосу на торфяных почвах не рекомендуется, т. к. взрыхленный слой торфа усиливает горение.

Другое назначение минерализованной полосы – создание опорной линии, от которой будет производиться встречный регулируемый пал (отжиг) лесного массива. Идущая навстречу основному пожару полоса огня уничтожает на своем пути все горючие материалы. Встретившись, пламя затухает, так как больше гореть нечему. В этом случае минерализованная полоса обустроивается вдоль линии распространяющегося огня на некотором от него отдалении. Производится поджог со стороны приближающейся стихии. Процесс должен находиться под постоянным контролем пожарных, чтобы огонь не перебросился на участок за линией разграничения [85].

Противопожарные минерализованные полосы создаются почвообрабатывающими орудиями. В большинстве случаев это происходит механизированным способом с использованием тракторов, бульдозеров, специальной техники для прокладывания полос (рис. 2.19).

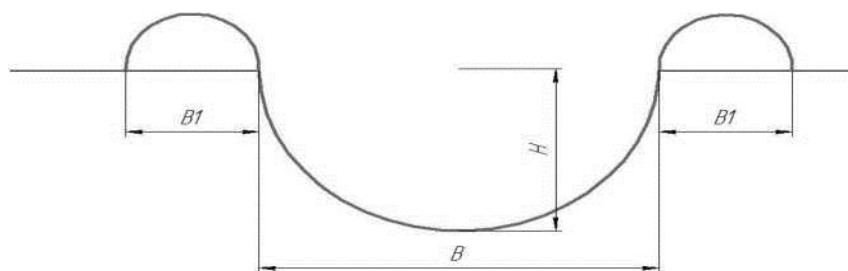


Рисунок 2.19 - Прокладка минерализованной полосы механизированным способом (Кумысная поляна г. Саратов, 2019г.)



Рисунок 2.20 - Не обновлённая минерализованная полоса (Кумысная поляна г. Саратов, 2019г.)

Минерализованная полоса, создаваемая плугами различных характеристик, представлена на рисунке 2.21. Ширина такой минерализованной полосы заранее predetermined размерами самого орудия (от 1,2 до 2 метров), и, чтобы увеличить ширину полосы, требуется увеличить ширину самого плуга, что в условиях леса неприемлемо. Для обустройства минерализованной полосы используется к примеру плуг ПКЛ-70ДМ.КЛ, включающий в себя как дисковые, так и подрезные ножи [122].



B_1 - ширина отсыпаемой полосы; B - ширина минерализованной полосы;
 H - глубина минерализованной полосы

Рисунок 2.21 Схема минерализованной полосы, созданной плугами [68]

Ширина минерализованной полосы может быть различной, и зависит она от назначения и условий местности. Для обустройства линии контролируемого отжига она может составлять 0,3-0,5 м. Для профилактики пожара рекомендуется обустраивать полосы не менее 1,4 м. Лучше, если такая линия будет еще шире (2,5-4 м), так как от этого зависит защитная эффективность барьера [43]. Способы и ширину их создания определяют с учетом возможной интенсивности и характера распространения пожара, лесорастительных и почвенных условий, наличия необходимых машин и орудий [14].

Минерализованная полоса предполагает полную очистку территории от горючих материалов. Поэтому кроме вспашки может понадобиться вырубка деревьев и кустарников на пути ее прокладки. Кроме обустройства новых линий, 1–2 раза в год необходимо проводить уход за ними, их обновление и восстановление, так как накопление слоя лесных горючих материалов (хвоя, листва, ветки, трава) происходит постоянно.

При создании минерализованных полос учитывается принцип минимума полос с максимально эффективным расположением. Этот принцип учитывает фактические данные возникновения пожаров и потенциально опасные к возгоранию участки. При проектировании большого количества полос, их экономическая эффективность в пожароопасном отношении снижается или, если пожары вообще не возникнут, то произойдет неэффективная затрата трудовых и денежных средств. Для расчета затрат на устройство минерализованной полосы

использовались данные лесохозяйственного регламента Вязовского лесничества Саратовской области [108].

Возникновение и развитие пожаров (и исследования, проводимые в данном направлении [82]) показывает, что минерализованные полосы не дают 100%-ной защиты от распространения пламени и при определенных погодных условиях могут быть просто бесполезны. Еще одним недостатком минерализованной полосы является необходимость постоянно ее возобновлять (в зависимости от региона до нескольких раз в год) (см.рис.2.20). Обустройство такой полосы довольно затратно и в финансовом и в материальном отношении.

Решением данного вопроса на наш взгляд является создание огнезащитной полосы [30,74,107], посредством обработки травянистой и древесной растительности специальными веществами – антипиренами, превращающими лесные горючие материалы (ЛГМ) в сгораемые или трудногорючие. Антипирены объединяет способность к снижению пожароопасных свойств горючих материалов, реализовать которую можно различными способами [94, 137].

Огнезащитная полоса - это искусственный противопожарный барьер, который содержит естественную или искусственную растительность, обладающую низкой горючестью достигнутой в результате ее обработки специальными огнезащитными составами. Создается она, как в профилактических целях - для ограничения распространения пожара и создания условий для тушения возможных лесных пожаров, так и в случае невозможности (нецелесообразности) построения минерализованной полосы.

Ширина огнезащитной полосы зависит от технических характеристик используемого для ее построения оборудования и может достигать 36 м (длина штанг штангового самоходного или прицепного опрыскивателя). Также, огнезащитная полоса может быть проложена непосредственно перед кромкой низового пожара с целью создания своеобразной “ловушки” и повышения эффективности мероприятий по предотвращению пожара. Для повышения эффективности огнезащитной полосы предлагается обработать поверхности природных горючих материалов специальными составами – антипиренами,

которые изменяют свойства горючих веществ и превращают их в негорючие или сгораемые вещества.

Пространственное распределение вещества с его дисперсией на молекулярном уровне можно осуществить только распылением жидкого раствора. Сделать это можно с помощью ручных или механизированных распылителей – опрыскивателей, похожих на те, которые используются для уничтожения сорняков, борьбы с вредителями и возбудителями болезней растений [34].

В зависимости от технологий и параметров создаваемых огнезащитных полос используются различные штанговые опрыскиватели. На сегодняшний день, практически все представленные коммерческие образцы штанговых опрыскивателей обладают захватом, превышающим требования, предъявляемые к ширине минерализованной полосы обеспечивающим абсолютную защиту от преодоления ее низовым лесным пожаром [145].

В нашем исследовании использовался прицепной штанговый опрыскиватель ОПШ-3000. Его технические характеристики представлены в п. 4.6.

Описание методики технико-экономического обоснования обустройства минерализованной полосы и ухода за ней и обустройства огнезащитной полосы.

1. Необходимое оборудование. В нашем случае запроектировано:

- для минерализованной полосы использование плуга ПКЛ-70, который агрегируется с гусеничным трактором ЛХТ-55;
- для огнезащитной полосы использовался штанговый опрыскиватель ОПШ-24-3000 в агрегате с колесным трактором МТЗ-82.

2. Исполнитель: тракторист-машинист, водитель автомобиля.

3. Объем работ. Для обустройства минерализованной и огнезащитной полосы были учтены следующие данные, указанные в таблицах 2.2 и 2.3.

Таблица 2.2 Данные для определения объема работ для минерализованной полосы

Ширина минерализованной полосы, м	2,4
Количество проходов агрегата (на примере ПКЛ-70)	2
Ежегодный объем построения минерализованных полос, км	175
Ежегодный уход за минерализованной полосой, км	875
Рабочая скорость агрегата, км/ч	4,7

Таблица 2.3 Данные для определения объема работ для огнезащитной полосы

Ширина огнезащитной полосы, м	12
Количество проходов агрегата (на примере ОПШ-24-3000)	1
Ежегодный объем построения минерализованных полос, км	175
Рабочая скорость агрегата, км/ч	7

4. Расчет нормы выработки. Были использованы типовые нормы выработки на механизированные работы согласно Приказа Минздравсоцразвития РФ от 26.04.2006 №317 [136].

5. Расчет трудовых затрат. Трудозатраты (чел./дней) на выполнение работ рассчитываются по формуле

$$T_3 = V_p \cdot H_B \quad (2.3)$$

где V_p – объем выполняемых работ, км; H_B – типовая норма выработки

6. Срок выполнения работ в днях устанавливается исходя из агротехнических и лесоводственных требований. В нашем случае был произведен расчет по формуле

$$C_p = \frac{V_p}{8ч \cdot V}, \quad (2.4)$$

где V_p – объем работ, км; V – рабочая скорость, км/ч; 8 ч – продолжительность рабочего дня.

7. Необходимое количество рабочих на период выполнения работ определяется делением трудозатрат на продолжительность срока выполнения работ по формуле

$$n_p = \frac{T_з}{n_d} \quad (2.5)$$

где $T_з$ - трудозатраты на выполнение работ, чел./дней; n_d - срок выполнения работ, дни.

8. Баланс рабочего времени одного рабочего в год. Баланс рабочего времени составляется с целью определения полезного фонда рабочего времени на одного рабочего в течение года и процента дополнительной заработной платы. Количество рабочих дней устанавливается по рабочему календарю на планируемый период.

Число эффективных рабочих дней (полезный фонд рабочего времени) на одного рабочего определяется вычитанием из числа календарных дней в году количества планируемых невыходов на работу в течение года. Процент дополнительной заработной платы определяется по формуле

$$Д = \frac{Д_n}{Д_p} \cdot 100\% \quad (2.6)$$

где $Д$ - дополнительный фонд оплаты труда в процентах к основному фонду оплаты труда; $Д_n$ - невыходы на работу, которые оплачиваются из дополнительного фонда заработной платы, дни; $Д_p$ - годовой полезный фонд рабочего времени на одного рабочего, дни.

9. Расчет фонда оплаты труда работников на лесохозяйственных и лесовосстановительных работах. Заработная плата трактористов-машинистов, как и других работников, состоит из:

- основной (тарифной) части, определяемой по часовым и (или) месячным тарифным ставкам (окладам), или сдельным расценкам;
- дополнительной части - выплат стимулирующего и компенсирующего характера.

Учитывая условия и интенсивность труда, а также престижность труда рабочих сельскохозяйственного производства, рекомендуется при определении тарифных ставок применять повышающие коэффициенты за условия труда для трактористов-машинистов - 1,8 [131].

Также применяются отраслевые повышающие коэффициенты. Для тракторов тягового класса от 1,4 до 3 и мощностью двигателя до 130 л.с. тарифный повышающий коэффициент ЕТС составляет 1,44 при 4-м тарифном разряде тракториста-машиниста [131].

Для расчета месячной тарифной ставки использовалась средняя заработная плата работников сельского и лесного хозяйства, рыбководства и рыболовства по Саратовской области по данным Росстата. В 2018 году она составила - 16122 рубля [158].

$$TC_{\text{мес}} = 3П_{\text{ср}} \cdot K_{\text{т}} \cdot K_{\text{ут}} \quad (2.7)$$

Дневная тарифная ставка определяется делением месячной тарифной ставки соответствующего разряда на среднее количество рабочих дней n в месяце (при шестидневной рабочей неделе в среднем 25,2 дня)

$$TC_{\text{дн}} = \frac{TC_{\text{мес}}}{n} \quad (2.8)$$

Тарифный фонд оплаты труда определяется умножением дневной тарифной ставки на необходимое количество человеко-дней.

Фонд оплаты труда работников на обработку огнезащитной полосы рассчитывается так же, как и на построение минерализованной полосы по формулам (2.7; 2.8). Дневная тарифная ставка составит также 1658,26 рублей.

В минимальный размер оплаты труда не включаются доплаты и надбавки, а также премии и другие поощрительные и компенсационные выплаты. Они начисляются к тарифному фонду оплаты труда. Принимаем доплаты и премии условно 50% от тарифного фонда оплаты труда. В результате тарифный фонд оплаты труда, премии, надбавки и доплаты составляют общую сумму основного фонда оплаты труда. Процент дополнительного фонда оплаты труда рассчитывают при составлении баланса рабочего времени. Дополнительный фонд оплаты труда устанавливается от суммы основной оплаты труда. Общий фонд оплаты труда состоит из основного и дополнительного фонда. Начисления на оплату труда ЕСН – единый социальный налог составляют 30% от общего фонда оплаты труда.

Исходя из вышеизложенного можно рассчитать технологическую себестоимость, которая определяется путем суммирования затрат по статьям калькуляции: общий фонд оплаты труда, страховые начисления на оплату труда.

10. Расчет стоимости содержания и эксплуатации агрегата. Расходы на содержание и эксплуатацию оборудования устанавливаются по фактически сложившимся расходам на предприятии или по смете на содержание и эксплуатацию механизма. Балансовая стоимость и расход ГСМ берется в рублях. Нормы на амортизацию, техническое обслуживание и ремонт - в процентах (условно). Годовая загрузка рассчитывается в днях. Итоговая стоимость агрегата вычисляется путем сложения стоимости на амортизацию, ТО и ремонт, ГСМ и прочих расходов.

В нормы расхода топлива на проведение минерализованных полос включены работы по подготовке тракторного агрегата к работе (заправка, пуск и прогрев двигателя), проведение минерализованных полос и их подновление, техническая регулировка рабочих органов, дозаправка топливом, переезды от участка к участку на расстояние в течение смены.

11. Определение стоимости расхода раствора антипирена для огнезащитной полосы. Для приготовления рабочего раствора в поле и быстрой заправки опрыскивателя поставляется заправочный комплекс. Он включает в себя

бак, мотопомпу высокой производительности, соединительные шланги, быстроразъёмное соединение. Время заправки около 5 минут. Модульная конструкция и небольшой вес штангового опрыскивателя позволяют легко и быстро устанавливать или снимать его во время переоборудования транспортного средства.

Чтобы приготовить водный раствор антипирена мы использовали порошок хлорида магния. Хлористый магний (хлорид магния) производится из рассолов бишофита путем выпаривания и кристаллизации. Магний хлористый экологически чистый и дышащий. Он безопасен для окружающей среды. Во-вторых, магний хлористый стерильный и целебный, гигиеничный и биостойкий. Изделия из него имеют высокие показатели износостойкости, поэтому не являются источниками пыли. Такой бишофит атмосфероустойчивый. Так же - морозостойкий и эластичный. Стойкий к действию кислот, щелочей, масел, солей и органических растворителей. В-третьих, хлористый магний огнестойкий и абсолютно не горюч.

Для исследования нам понадобится 1,5 кг сухого вещества на 1 м³ воды. Расход воды на 1 км составит 6 м³ или 6000 л., т.е. на каждые 350 м пути расходуется 2 м³ воды. Соответственно сухого вещества нам понадобится ≈ 10 кг/км. Чтобы дозаправить воду, нужно сделать 3 остановки по 5 минут (350 · 3 = 1050 м). Скорость движения агрегата составляет 3,5 м/с. Следовательно, остановки будут через каждые 100 секунд (3,5 м/с x 100 с = 350 м). Итого время работы агрегата: (100 с · 3) + 900 с. дозаправка = 1200 с. или 20 минут.

12. Расчет общих затрат. Общие затраты на прокладку и уход минерализованной полосы суммируются и определяются на 1 км работ:

$$\Sigma = \frac{(C_{мс} + C_{т})}{V_p} \quad (2.9)$$

Общие затраты на обработку раствором антипирена суммируются и определяются на 1 км огнезащитной полосы (формула 2.9).

3 МОНИТОРИНГ ОБСТАНОВКИ С ЛЕСНЫМИ ПОЖАРАМИ. ВЗАИМОСВЯЗЬ ПОЖАРОВ С ПОГОДНЫМИ УСЛОВИЯМИ

3.1 Сбор и анализ статистических данных по пожарам в лесничествах Саратовской области

Лесные пожары обладают одной важной закономерностью, они происходят только строго определенный период года – теплое время или так называемый пожароопасный период. Такой период времени длится в России, в зависимости от региона от 3 до 7 месяцев. В Саратовской области пожароопасный период начинается с апреля и продолжается до октября. В зависимости от состава лесной растительности, ее плотности, рельефа местности, погодных условий и т.д. пожар развивается по-разному, нанося вред окружающей среде. Для разработки мероприятий препятствующих возникновению и развитию лесного пожара необходимо проводить мониторинг пожарной опасности.

Для проведения мониторинга нами были запрошены сведения по количеству лесных пожаров в лесничествах Саратовской области (см. приложение). Данные о лесных пожарах были предоставлены Министерством природных ресурсов и экологии Саратовской области [приложение Б, В, Г]. Полученные данные сведены в таблицы 3.1.-3.3.

Таблица 3.1 - Распределение числа пожаров по лесничествам Саратовской области

Наименование района, лесничества	Число пожаров						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Аркадакский, Аркадакское	0	0	0	0	0	1	8
Аткарский, Аткарское	0	1	1	3	5	1	5
Базарно-Карабулакский, Базарно-Карабулакское	0	2	0	4	6	4	11
Балаковский, Балаковское	0	0	0	0	0	1	1
Балаковский, Пугачевское	0	5	0	0	0	0	0
Балашовский, Балашовское	1	1	1	1	6	5	9
Балтайский, Балтайское	0	6	0	1	0	1	0
Вольский, Вольское	1	6	0		7	1	3
Вольский, Черкасское	1	2	0	1	3	0	2
Вольский, Балаковское	0	0	0	0	0	0	3
Вольский, Саратовский Пензенское лесничество МО	0	0	0	1	0	0	0
Воскресенский, Марксовское	0	0	0	0	0	1	0
Воскресенский, Усовское	2	7	1	4	2	0	3
Духовницкий, Балаковское	0	0	0	0	0	1	4
Екатериновский, Екатериновское	1	10	0	2	2	0	10
Калининский, Калининское	0	0	0	1	1	1	10
Красноармейский, Красноармейское	2	14	3	3	14	9	13
Краснокутский, Дьяковское	0	1	0	0	2	0	0
Лысогорский, Лысогорское	1	5	0	0	1	1	6
Лысогорский, Ширококарамышское	1	3	1	3	11	0	4
Марксовский, Марксовское	0	1	1	1	4	1	7
Петровский, Вязовское	0	3	0	0	0	1	2
Пугачевский, Пугачевское	0	0	0	0	0	1	0
Новобураский, Новобураское	0	1	0	0	1	0	3
Ровенский, Энгельское	0	0	0	1	3	2	0
Романовский, Романовское	1	1	0	0	0	3	5
Саратовский, Саратовское	0	15	0	1	9	9	15
Самойловский, Балашовское	0	0	0	0	0	0	3
Саратовский, Татищевское уч. Лесничество МО	3	11	2	4	5	0	0
Татищевский, Вязовское	0	0	0	2	5	5	5
Татищевский, Саратовское	0	0	0	0	1	1	0

Продолжение Таблицы 3.1 - Распределение числа пожаров по лесничествам Саратовской области

Наименование района, лесничества	Число пожаров						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Фёдоровский, Ершовское	0	0	0	0	1	0	1
Хвалынский, НП "Хвалынский"	0	0	0	0	1	0	0
Энгельсский, земли иных категорий	0	0	0	0	1	0	0
Энгельсский, Энгельское	0	0	0	0	3	0	1
Ртищевский, Макаровское	0	0	0	0	0	0	1
Всего в год	14	95	10	33	94	50	135

Анализ данных табл. 3.1 позволяет сделать выводы, что за период с 2014 по 2020 гг. наибольшее число пожаров отмечено в 2020 г - 135. К пожароопасным сезонам, также можно отнести 2015 и 2018 гг., т.к. в течение теплого сезона произошли 95 и 94 пожар, соответственно. Наименьшее количество пожаров (10) зафиксировано в 2016 году. Для более наглядного представления информации по распределению числа пожаров между лесничествами Саратовской области представлено на диаграмме (см. рис. 3.1).

Распределение числа пожаров по лесничествам Саратовской области

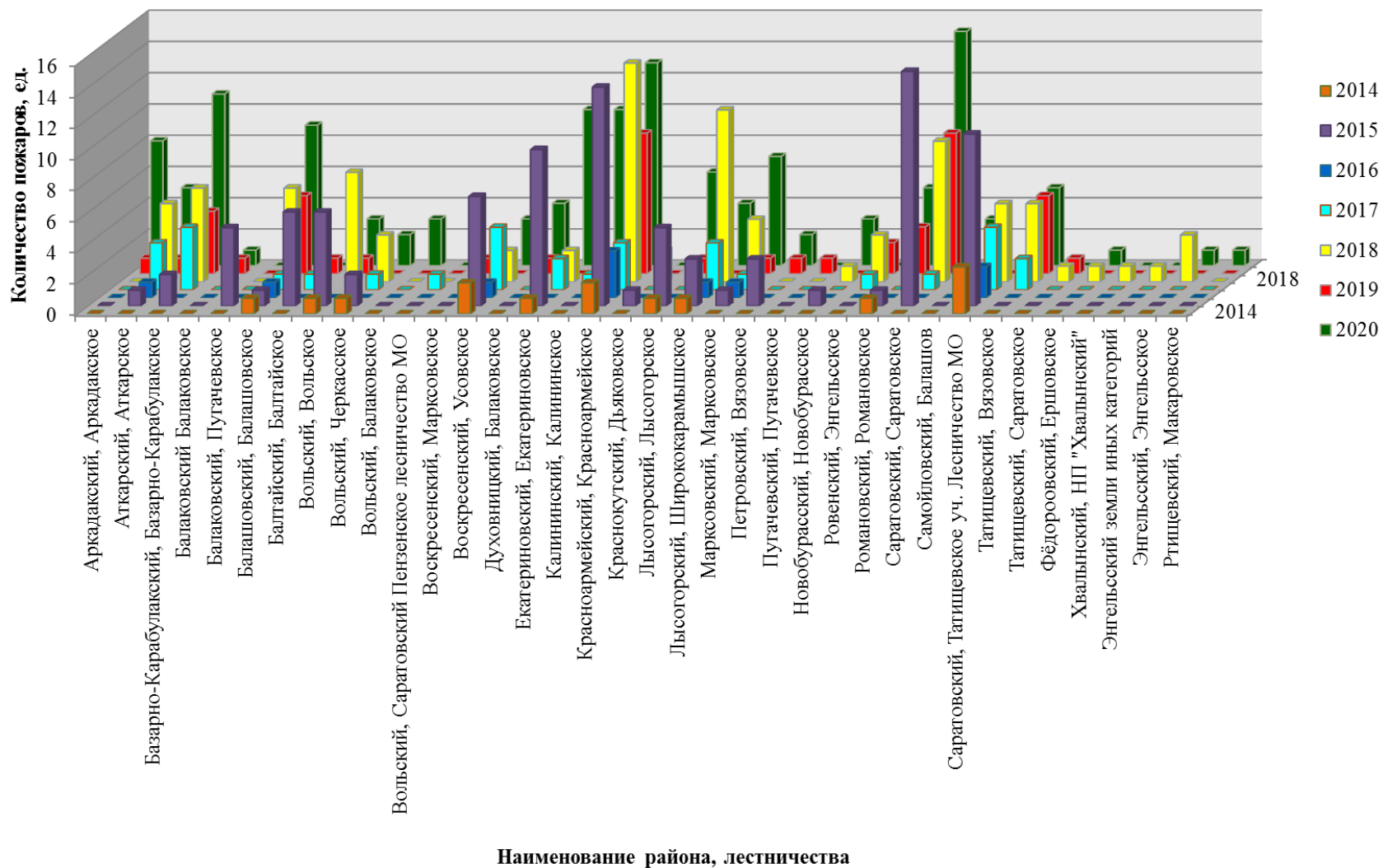


Рисунок 3.1 - Графические данные по распределению числа пожаров по лесничествам Саратовской области.

Большее количество пожаров зафиксировано в Саратовском лесничестве и Татищевском участковом лесничестве Министерства обороны, расположенном в Саратовском районе. Плотность населения в Саратовском районе одна из самых больших по сравнению с другими районами области, что и является основной причиной данных показателей, т.к. в абсолютном большинстве случаев (98%), причиной пожаров является неосторожное обращение с огнем. Также большое количество пожаров отмечено в Красноармейском лесничестве, что мы связываем с выраженной засушливостью климата, распространённостью в этом лесничестве типа леса - Дубрава остепнённая.

Проанализируем распределение общей площади пожаров по лесничествам Саратовской области (см. табл. 3.2).

Таблица 3.2 - Распределение общей площади пожаров по лесничествам Саратовской области

Наименование района, лесничества	Общая площадь, га						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Аркадакский, Аркадакское	0	0	0	0	0	1,9	15,37
Аткарский, Аткарское	0	4,5	2,3	4,3	163,2	7,15	9,39
Базарно-Карабулакский, Базарно-Карабулакское	0	6,9	0	14,6	54,35	19	0,20
Балаковский, Балаковское	0	0	0	0	0	0,3	5,1
Балаковский, Пугачевское	0	43,7	0	0	0	0	3,21
Балашовский, Балашовское	0,4	3	0,7	0,5	5,9	16,7	0,89
Балтайский, Балтайское	0	37,1	0	15	0	4,2	0
Вольский, Вольское	15	6,42	0	0	0,6	0,2	0,13
Вольский, Черкасское	15	0,6	0	0,9	109,6	0	0,03
Вольский, Балаковское	0	0	0	0	0	0	155,3
Вольский, Саратовский Пензенское лесничество МО	0	0	0	24	0	0	0
Воскресенский, Марксовское	0	0	0	0	0	8,5	0
Воскресенский, Усовское	11,7	31,03	1	24,8	8,4	0	0,10
Духовницкий, Балаковское	0	0	0	0	0	2,6	0
Екатериновский, Екатериновское	0,6	84,6	0	1,9	72	0	11,28
Калининский, Калининское	0	0	0	0,5	17,6	1,5	1,33
Красноармейский, Красноармейское	34,5	5	4,9	223,5	184,68	37,1	6,87

Продолжение таблицы 3.2 - Распределение общей площади пожаров по лесничествам Саратовской области

Наименование района, лесничества	Общая площадь, га						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Краснокутский, Дьяковское	0	40,3	0	0	0,2	0	0
Лысогорский, Лысогорское	1,6	43	0	0	0,5	0,7	1,19
Лысогорский, Ширококарамышское	0,6	10,8	0,5	25,9	492,2	0	0,6
Марковский, Марковское	0	4,2	0,3	1,8	1,84	24,36	0,16
Петровский, Вязовское	0	28,5	0	0	0	4	0,01
Пугачевский, Пугачевское	0	0	0	0	0	0,7	0
Новобурасский, Новобурасское	0	2	0	0	9	0	0,23
Ровенский, Энгельское	0	0	0	182	20,01	4,2	0
Романовский, Романовское	3,1	7,1	0	0	0	47,2	0,23
Саратовский, Саратовское	0	107,1	0	8	187,7	20,1	4,06
Самойловский, Балашовское	0	0	0	0	0	0	61
Саратовский, Татищевское уч. Лесничество МО	28,6	70,1	10	6,7	42,1	0	0
Татищевский, Вязовское	0	0	0	9,4	9,8	10,8	0,09
Татищевский, Саратовское	0	0	0	0	10	3,5	0
Фёдоровский, Ершовское	0	0	0	0	10,2	0	0,0001
Хвалынский, НП "Хвалынский"	0	0	0	0	0,6	0	0
Энгельсский, земли иных категорий	0	0	0	0	6	0	0
Энгельсский, Энгельское	0	0	0	0	2,75	0	0,01
Ртищевский, Макаровское	0	0	0	0	0	0	0,005
Итого	111,1	535,9	19,7	543,8	1409,2	214,7	276,8

Наибольшая суммарная площадь пожаров отмечена в 2018 году - 1409,2 га. По параметру суммарной площади за пожароопасный период 2017 и 2015 годы практически одинаковы – 543,8 и 535,9 га соответственно (хотя количество пожаров в 2015 году больше в 2,5 раза). Наименьшая площадь пожаров отмечена в 2016 году – 19,7 га. Для более наглядного представления информации по распределению общей площади пожаров по лесничествам Саратовской области представлено на диаграмме (см. рис. 3.2).

Распределение общей площади пожаров по лесничествам Саратовской области

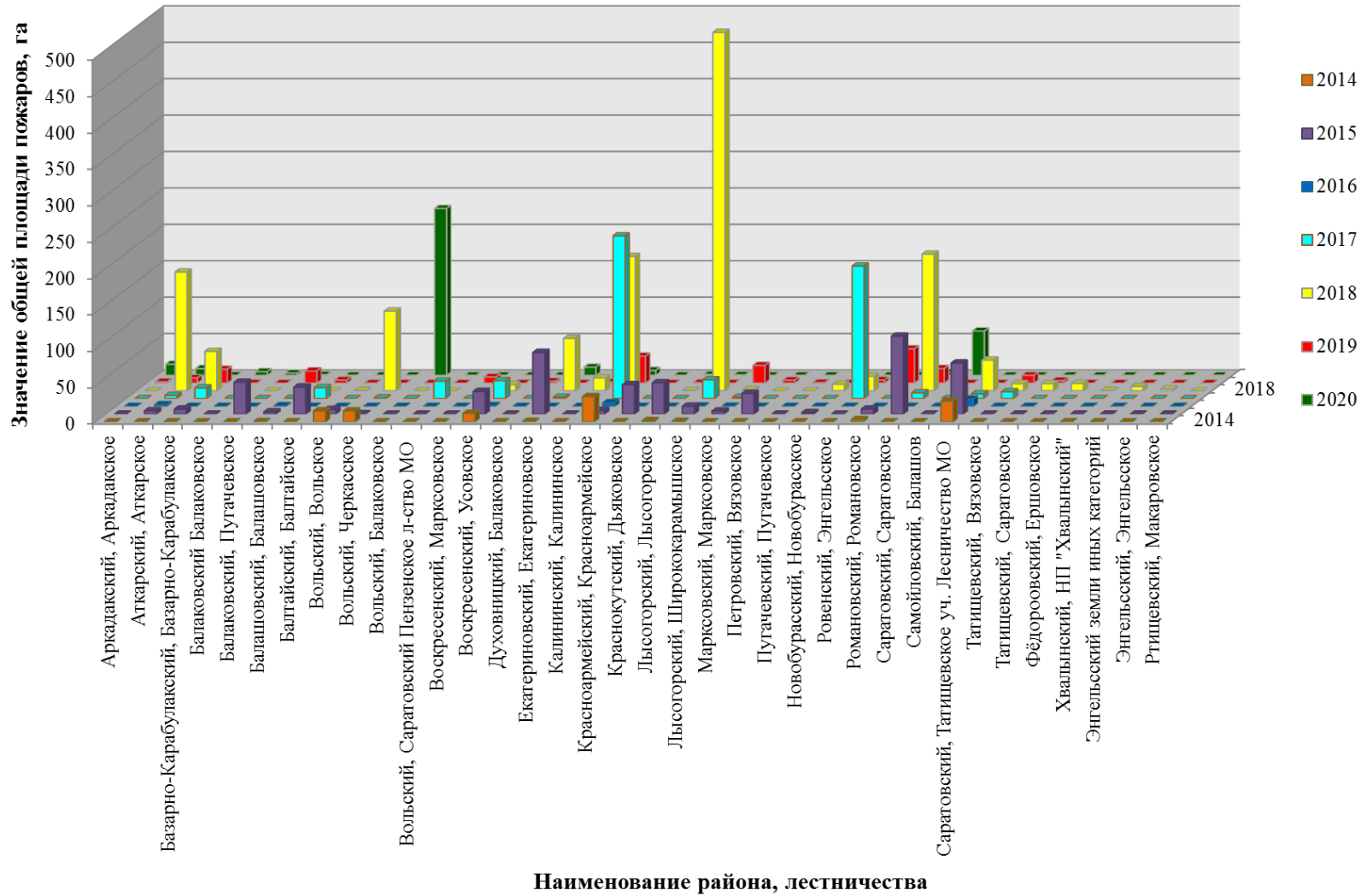


Рисунок 3.2 - Графические данные по распределению общей площади пожаров по лесничествам Саратовской области

Анализ данных показывает, что по площади пожаров лидирует Лысогорский район, в котором много хвойных лесов, что мы считаем основной причиной этих показателей.

Проанализируем распределение средней площади пожаров по лесничествам Саратовской области (см. табл. 3.3).

Таблица 3.3 Распределение средней площади пожаров по лесничествам Саратовской области

Наименование района, лесничества	Средняя площадь пожаров по годам, га						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Ардадакский, Ардадакское	0	0	0	0	0	0,53	1,92
Аткарский, Аткарское	0	0,22	0,43	0,7	0,03	0,14	1,87
Базарно-Карабулакский, Базарно-Карабулакское	0	0,29	0	0,27	0,11	0,21	0,018
Балаковский, Балаковское	0	0	0	0	0	0	0,3
Балаковский, Пугачевское	0	0,11	0	0	0	0	0,4
Балашовский, Балашовское	2,5	0,33	1,43	2	1,02	0,3	0,07
Балтайский, Балтайское	0	0,16	0	0,07	0	0,24	0
Вольский, Вольское	0,07	0,93	0	0	6,67	5	0,04
Вольский, Черкасское	0,07	3,33	0	1,11	0,03	0	0,019
Вольский, Балаковское	0	0	0	0	0	0	51,7
Вольский, Саратовский Пензенское лесничество МО	0	0	0	0,04	0	0	0
Воскресенский, Марксовское	0	0	0	0	0	0,12	0
Воскресенский, Усовское	0,17	0,23	1	0,16	0,24	0	0,03
Духовницкий, Балаковское	0	0	0	0	0	0,38	0
Екатериновский, Екатериновское	1,67	0,11	0	1,05	0,03	0	1,12
Калининский, Калининское	0	0	0	2	0,06	0,67	0,13
Красноармейский, Красноармейское	0,06	0,2	0,61	0,01	0,08	0,13	0,52
Краснокутский, Дьяковское	0	0,02	0	0	10	0	0
Лысогорский, Лысогорское	0,63	0,12	0	0	2	1,43	0,19
Лысогорский, Ширококарамышское	1,67	0,28	2	0,12	0,02	0	0,15
Марксовский, Марксовское	0	0,24	3,33	0,56	2,17	0	0,02
Петровский, Вязовское	0	0,11	0	0	0	0,25	0,012
Пугачевский, Пугачевское	0	0	0	0	0	1,43	0
Новобурасский, Новобурасское	0	0,5	0	0	0,11	0	0,079
Ровенский, Энгельское	0	0	0	0,01	0,15	0,48	0

Продолжение таблицы 3.3 Распределение средней площади пожаров по лесничествам Саратовской области

Наименование района, лесничества	Средняя площадь пожаров по годам, га						
	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
Романовский, Романовское	0,32	0,14	0	0	0	0	0,046
Саратовский, Саратовское	0	0,14	0	0,13	0,05	0,4	0,27
Самойловский, Балашовское	0	0	0	0	0	0	20,3
Саратовский, Татищевское уч. Лесничество МО	0,1	0,16	0,2	0,6	0,12	0	0
Татищевский, Вязовское	0	0	0	0,21	0,51	0,37	0,019
Татищевский, Саратовское	0	0	0	0	0,1	0,29	
Фёдоровский, Ершовское	0	0	0	0	0,1	0	0,000 1
Хвалынский, НП "Хвалынский"	0	0	0	0	1,67	0	0
Энгельсский, земли иных категорий	0	0	0	0	0,17	0	0
Энгельсский, Энгельское	0	0	0	0	1,09	0	0,01
Ртищевский, Макаровское	0	0	0	0	0	0	0,005
Итого	7,3	7,6	9,0	9,0	26,5	12,7	84,0

Распределение средней площади пожаров по лесничествам Саратовской области

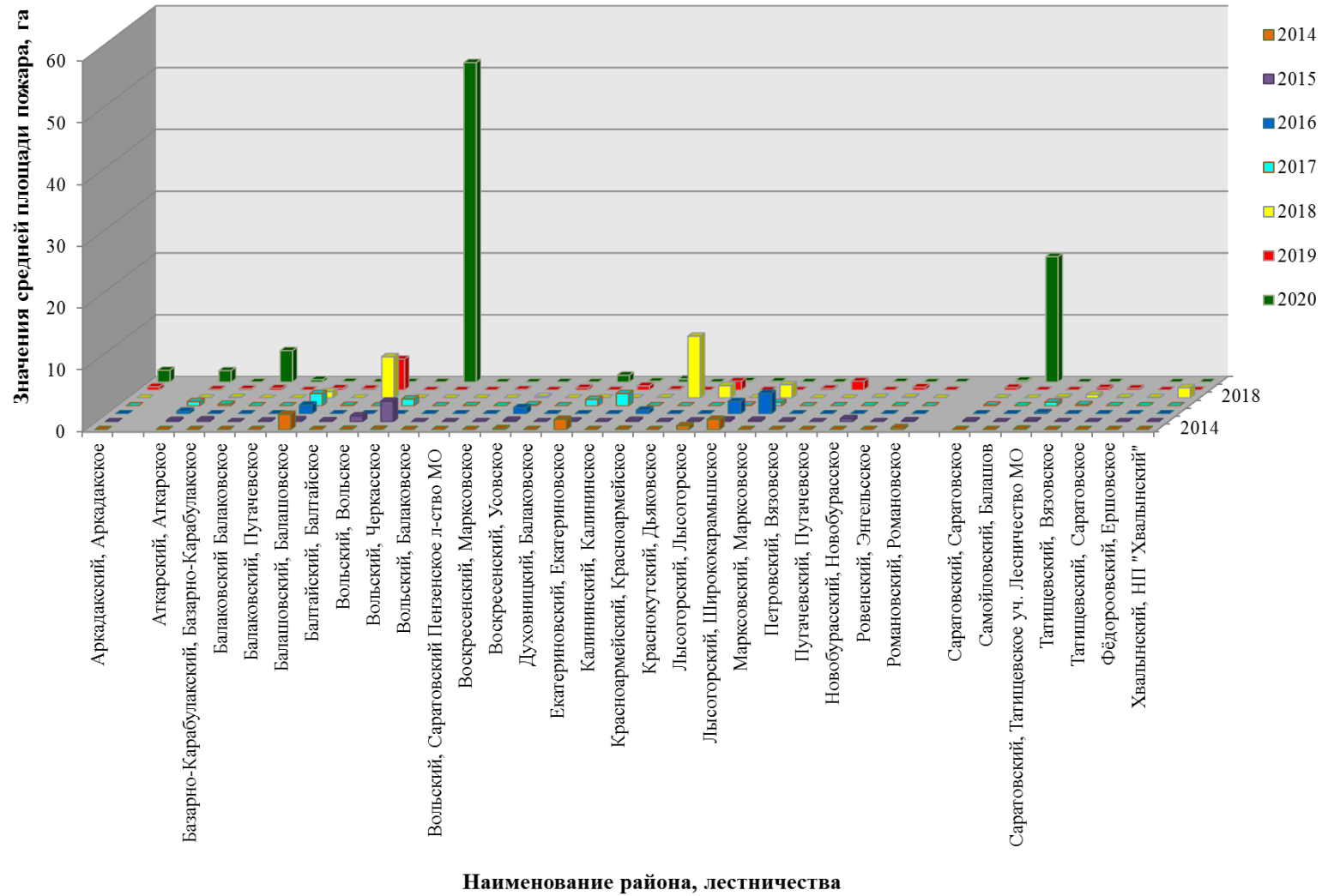


Рисунок 3.3 Распределение средней площади пожаров по лесничествам Саратовской области

По показателю средней площади лесного пожара (см. рис. 3.3) лидирует 2020 год - 84 га. В остальные годы средняя площадь лесного пожара находится в интервале от 7,3 до 26,5 га. Данный показатель определяет примерное количество сил и средств, запаса ресурсов для ликвидации одного пожара, а также необходимость участия сил ФПС МЧС России.

3.2 Исследование взаимосвязи метеоусловий с возникновением пожароопасной обстановки

Важной составляющей противопожарной профилактики является мониторинг пожароопасной обстановки по условиям погоды. Продолжительность пожароопасного сезона напрямую связана с температурным режимом и количеством осадков, а именно, чем выше среднесуточные температуры и чем ниже количество осадков, тем сильнее потенциальные условия для возникновения лесных пожаров.

Несмотря на простоту подхода с оценкой температуры воздуха и количества осадков мониторинг погодных условий является довольно трудной задачей, т.к. необходимо одновременно учитывать и температуру теплого сезона и количество выпавших осадков, а также флуктуации погодных условий, рост которых наблюдается при изменении климата его тенденцией к потеплению [116, 172].

Используя архив погоды, взятый с метеорологического сайта [142] rp5.ru для метеостанций Правобережной и Левобережной частей Саратовской области и с помощью программы Excel (входящий в пакет *Microsoft Office*) были произведены вычисления взаимосвязь погодных условий с количеством пожаров в лесах Саратовской области, путем вычисления корреляции Пирсона. Полученные данные были усреднены и отображены в таблицах 3.4 и 3.5.

Таблица 3.4 Взаимосвязь количества пожаров с показателями погодных условий по отдельным районам

Наименование части	Район исследования/город	Год	Средняя температура	Средняя относительная влажность	Сумма осадков	Средняя скорость ветра
Правобережная часть Саратовской области	Красноармейск	2018	0,00	-0,76	-0,79	-0,03
		2019	-0,44	-0,07	-0,15	0,13
		2020	0,12	-0,53	-0,33	0,21
	Балашов	2018	0,29	-0,59	-0,27	0,11
		2019	0,31	-0,67	-0,59	-0,58
		2020	0,14	0,21	-0,27	-0,48
	Саратов	2018	0,12	-0,53	-0,33	0,21
		2019	-0,44	-0,07	-0,15	0,13
		2020	-0,62	0,27	-0,58	-0,14
Левобережная часть Саратовской области	Красный Кут	2018	-0,23	0,16	-0,35	0,22
		2019	-	-	-	-
		2020	-	-	-	-
	Новоузенск	2018	-	-	-	-
		2019	-	-	-	-
		2020	-	-	-	-
	Маркс	2018	0,75	-0,41	-0,07	-0,13
		2019	0,44	-0,25	0,78	-0,06
		2020	-0,62	-0,27	-0,66	0,17

Таблица 3.5 Взаимосвязь количества пожаров с показателями погодных условий по Саратовской области

Наименование части	Год	Средняя температура	Средняя относительная влажность	Сумма осадков	Средняя скорость ветра
Правобережная часть Саратовской области	2018	0,44	-0,77	-0,14	0,21
	2019	0,30	-0,72	-0,47	-0,61
	2020	-0,53	0,07	-0,68	-0,13
Левобережная часть Саратовской области	2018	0,58	-0,55	-0,13	-0,38
	2019	0,72	-0,59	0,38	-0,74
	2020	-0,43	-0,16	-0,87	-0,26

При анализе полученных результатов таблицы 3.4 было выявлено следующее, что в Правобережной части Саратовской области наилучшая взаимосвязь, проявилась между числом пожаров и средней относительной влажностью воздуха (-0,67; -0,76) в 2018 и 2019 гг., а также между числом пожаров и суммой осадков (-0,79) в 2018г., в Левобережной части обнаружена взаимосвязь между числом пожаров и суммой осадков (-0,66; 0,78) в 2019 и 2020 гг., а также между числом пожаров и средней температурой воздуха (0,75) в 2018 г.

Коэффициенты корреляции между погодными условиями и обстановкой с пожарами удалось вычислить только для тех районов где лесные пожары были официально зарегистрированы, если в лесничестве лесные пожары были не зарегистрированы, то коэффициент корреляции вычислить не представляется возможным (см. табл.3.4), в соответствующей клетке в таблице указан прочерк.

Абсолютное большинство лесных массивов располагаются в Правобережной части Саратовской области, Левобережная часть Саратовской области имеет степной характер, где лесные массивы в большинстве случаев

сформированы в виде лесозащитных полос вдоль дорог, с/х угодий, по берегам водоемов. Данная особенность сказывается на статистике количества пожаров и, следовательно, на результатах корреляции, и их отсутствие в отдельных случаях (прочерк в клетке) таблицы 3.4.

Корреляция по многим параметрам получилась низкая в связи с влиянием на количество пожаров не только погодных условий, но и их неустойчивостью, которая позволяет, к примеру, сочетать большое количество осадков и большое количество пожаров, в одном расчетном периоде (месяце). На возникновение пожаров и их число оказывает влияние антропогенный фактор (деятельность человека приводящая к возникновению лесного пожара), так как в 98% случаев основной причиной пожаров является действия человека, а погодные условия только создают предпосылки для развития и распространения пожара по территории.

Предпринята попытка объединить данные о произошедших пожарах и условий погоды для крупных частей Саратовской области Левобережной и Правобережной. Значения коэффициента корреляции Пирсона представлены в таблице 3.5. При анализе полученных результатов таблицы 3.5 было выявлено следующее, что в Правобережной части Саратовской области наилучшая взаимосвязь, проявилась между числом пожаров и средней относительной влажностью воздуха (0,77; 0,72) в 2018 и 2019 гг., в Левобережной части обнаружена взаимосвязь между числом пожаров и суммой осадков (0,87) в 2020 г., между числом пожаров и средней скоростью ветра (0,74) в 2019 г. и между числом пожаров и средней температурой воздуха (0,72) в 2019 г.

Для Саратовской области управляющим фактором для возникновения и развития лесных пожаров является влажность воздуха, а также количество осадков выпавшее на данной территории. Очевидно, что влажность лесных материалов обратно пропорциональна их пожарной опасности. Поэтому чем выше влажность, тем ниже число пожаров. Для некоторых периодов времени высокие значение средней температуры воздуха могут сочетаться с высокими значениями влажности и большим количеством осадков, поэтому корреляция

между числом пожаров и средней температурой воздуха может быть как положительной, так и отрицательной.

Полученные данные подтвердили влияние погодных условий на количество лесных пожаров, особенно ярко выраженные значения корреляции были получены по взаимосвязи влажности воздуха и сумме осадков к количеству пожаров за тот же период (см. таблицы 3.4. и 3.5). Хотелось бы отметить, что высокие значения корреляции в большей степени прослеживаются при рассмотрении влияния погодных условий на количество пожаров по отдельным районам исследования каждой части (Левобережной и Правобережной) Саратовской области (см. табл. 3.4).

В связи с малым количеством зарегистрированных лесных пожаров или их полным отсутствием по отдельным лесничествам Левобережной части Саратовской области и невозможностью получения значений корреляции за аналогичные периоды, была составлена таблица 3.5. Предпринятая попытка объединения средних значений параметров погодных условий и зафиксированных лесных пожаров по всей Левобережной части Саратовской области позволила получить данные корреляции для анализа взаимосвязи погодных условий и количества пожаров, которая ранее была невозможна.

Также хотелось бы отметить, что наибольшее число пожаров, наблюдаемое из года в год (2014-2020 гг) для Правобережной части Саратовской области являются месяцы июнь, сентябрь, а для Левобережной части август-октябрь. Именно в эти периоды работникам лесного хозяйства следует уделять большее внимание противопожарной профилактике.

Выводы

В п. 3.1 был проведен анализ распределения числа пожаров, общей и средней площади лесных пожаров по лесничествам, за период с 2014 по 2020 гг. наибольшее число пожаров отмечено в 2020 г - 135. К пожароопасным сезонам, также можно отнести 2015 и 2018 гг., т.к. в течение теплого сезона произошли 95

и 94 пожар, соответственно. Наименьшее количество пожаров (10) зафиксировано в 2016 году.

Наибольшая суммарная площадь пожаров отмечена в 2018 году - 1409,2 га. По параметру суммарной площади за пожароопасный период 2017 и 2015 годы практически одинаковы – 543,8 и 535,9 га соответственно (хотя количество пожаров в 2015 году больше в 2,5 раза). Наименьшая площадь пожаров отмечена в 2016 году – 19,7 га. По показателю средней площади лесного пожара лидирует 2020 год - 84 га. В остальные годы средняя площадь лесного пожара находится в интервале от 7,3 до 26,5 га.

В п. 3.2 для выявления взаимосвязи метеоусловий с возникновением пожароопасной обстановки были проведены вычисления взаимосвязи погодных условий с количеством пожаров, путем вычисления корреляции Пирсона. При анализе полученных результатов по отдельным районам было выявлено следующее, что в Правобережной части Саратовской области наилучшая взаимосвязь, проявилась между числом пожаров и средней относительной влажностью воздуха (-0,67; -0,76) в 2018 и 2019 гг., а также между числом пожаров и суммой осадков (-0,79) в 2018г., в Левобережной части обнаружена взаимосвязь между числом пожаров и суммой осадков (-0,66; 0,78) в 2019 и 2020 гг., а также между числом пожаров и средней температурой воздуха (0,75) в 2018 г.

Предпринята попытка объединить данные о произошедших пожарах и условий погоды для крупных частей Саратовской области Левобережной и Правобережной. При анализе полученных результатов было выявлено следующее, что в Правобережной части Саратовской области наилучшая взаимосвязь, проявилась между числом пожаров и средней относительной влажностью воздуха (0,77; 0,72) в 2018 и 2019 гг., в Левобережной части обнаружена взаимосвязь между числом пожаров и суммой осадков (0,87) в 2020 г., между числом пожаров и средней скоростью ветра (0,74) в 2019 г. и между числом пожаров и средней температурой воздуха (0,72) в 2019 г.

4 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТУШЕНИЯ И ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ ПОЖАРА, А ТАКЖЕ ЕГО ТУШЕНИЯ НА ЛЮБОЙ СТАДИИ РАЗВИТИЯ

Любое комплексное исследование и отдельные эксперименты должны обладать свойством представительности. Это означает, что результаты исследований с проведением натуральных (лабораторных и полевых) и вычислительных (расчетов по известным физико-математическим моделям) экспериментов должны соответствовать реальности, т.е. адекватно воспроизводить реальные природные процессы. При проведении исследований в области борьбы с лесными пожарами значительную трудность представляет их многофакторность, т.е. влияние на возникновение и распространение низового пожара множества факторов, исключить или учесть которые в ходе натуральных и вычислительных экспериментов представляет собой задачу чрезвычайной сложности. Именно поэтому необходимо сочетать проведение лабораторных экспериментов с полевыми, а при невозможности (по различным объективным причинам) проведения натурального эксперимента вести расчеты по физико-математическим моделям, разработанным на основе анализа погодной обстановки, сценариев возникновения, развития природных пожаров и оценки их последствий.

4.1 Исследование метеоусловий экспериментального района

Район проведения полевых экспериментов наблюдался в течение 3 лет в 2018, 2019 и 2020 годах. Выбранный промежуток времени с апреля по октябрь

показывает статистические данные погодных условий на территории Левобережной части Саратовской области. Апрель характеризуется значительным повышением температуры воздуха и устойчивым переходом её к положительным значениям, ее пределы составляют от +7,2 °С до +14,2 °С. Месячное количество осадков в апреле месяце по многолетним данным (период 2014 - 2020 гг.) колеблется по территории Левобережной части Саратовской области от 46 мм до 182 мм. Чаще всего наибольшее количество осадков за пожароопасный период приходится на апрель месяц, наименьшее на период с июня по август месяцы. В основном с конца июня и до середины августа наблюдается продолжительное нарастание температуры воздуха светлого периода суток и установление жаркой и сухой погоды. В результате иссушается надпочвенный покров земли и отмерших растительных остатков на территории лесного фонда и близлежащей территории. В особенности для Левобережья Саратовской области характерны суховеи, достигающие большой силы. В июне и в июле осадки довольно неравномерны как по времени, так и по территории. Август характеризуется неустойчивым температурным режимом и дефицитом осадков. Количество осадков ниже предела сдерживания роста пожарной опасности.

Преобладание сухой и аномально-тёплой погоды в большинстве дней сентября обуславливает нарастание комплексного показателя опасности на территории Саратовской области, расширение по площади “зон” высокой и чрезвычайной пожарной опасности. Из проведенного анализа мы видим, что из года в год пожароопасная обстановка складывается на территории Саратовской области, что в свою очередь подразумевает поиск новых методов и средств для решения данной проблемы.

4.2 Исследование участков местности, почвы, травяного покрова и запасов лесных горючих материалов на них

Любой пожар требует одновременного наличия трех факторов: горючего вещества, окислителя и источника зажигания. Перемещение лесного низового

пожара осуществляется по “слою” природных горючих материалов, расположенному на поверхности почвы. Изучив состав и строение этого “слоя” можно найти причины, обуславливающие устойчивость горения, а также управляющие факторы, ускоряющие или замедляющие распространение пламени по территории природного ландшафта.

Стоит предположить, что способствовать распространению низового пожара будут два фактора: (1) запас природного горючего вещества на единице площади почвенного покрова, (2) равномерность распределения природных горючих материалов на поверхности почвенного покрова. Первый фактор обязательно имеет нижний предел, так отсутствие горючих веществ на поверхности почвы должно прекратить распространение пожара. Это принцип применяют для создания искусственных противопожарных барьеров – минерализованных полос. По-видимому, есть и верхний предел данного фактора – слишком большая масса горючих веществ на малой площади, обязательно должна привести к снижению скорости распространения кромки пожара - такой участок низовой пожар просто будет обходить, оставляя в своем «тылу» очаг горения, который выгорая не сможет продолжить движение из-за того, что окружающие данный участок горючие материалы уже сгорели. Второй фактор, отвечает за скорость распространения кромки низового пожара по территории природного ландшафта, т.к. чем более равномерно распределены горючие материалы по территории, тем равномернее и ровнее распространяется кромка низового пожара. В этом случае, на кромке будут отсутствовать ярковыраженные “пальцы” или “языки” – участки кромки низового пожара,двигающиеся с большей скоростью, чем общая средняя скорость движения кромки (рис. 4.1) [187].

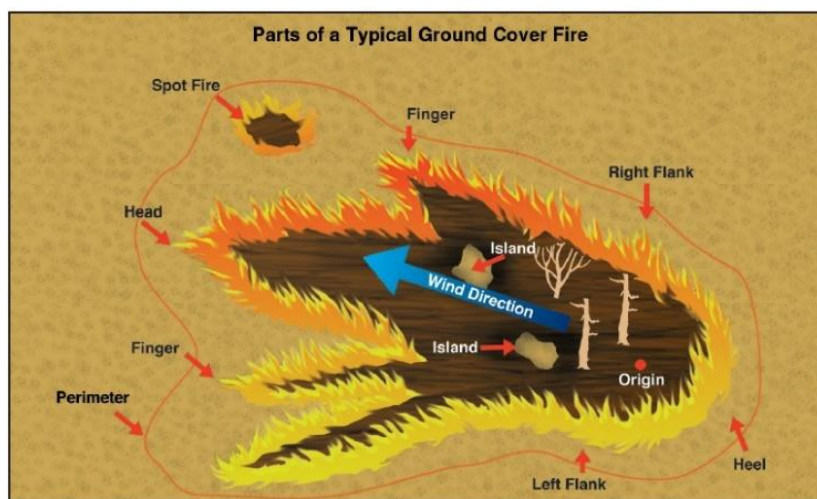


Рисунок 4.1 - Кромка лесного пожара (схема) [187]

Наличие таких «пальцев» при распространении природного пожара обычная ситуация, т.к. заселение территории травянистыми растениями в результате самосева происходит хаотично, не обеспечивая равномерности. Данная особенность распространения пламени по территории природного ландшафта негативным образом отражается на попытках исследовать сам процесс распространения пламени, т.к. в этом случае довольно трудно определить истинную скорость распространения пламени и выявить влияние на нее различных факторов, к примеру, скорости ветра. Таким образом, для исследовательских целей необходимы участки местности, равномерно заселенные разнотравьем. В зоне проведения экспериментов были выбраны 8 участков, на которых проводилось исследование запасов лесных горючих материалов. Для этого выбирались участки травяного покрова с ровным травостоем и проводилось исследование видового состава и особенностей заселения травяного ценоза (рис. 4.2).



а

б

Рисунок 4.2 - Экспериментальные участки для полевых испытаний огнетушащей и огнезадерживающей способности (а, б - экспериментальные участки)

Проведено исследование видового состава растительности: 80 % - пырей ползучий, 20 % - шалфей, полынь, василек, люцерна и т.п. Для определения массы горючих веществ, расположенных на единице площади экспериментального участка, удаленные растения и растительные остатки взвешивались на весах, и полученная масса пересчитывалась на 1 м² площади исследуемого участка. Данные, полученные с нескольких участков, усреднялись. Полученное распределение массы горючих материалов на площади экспериментальных секторов составило, в среднем, 0,7-1,1 кг/м² (табл. 4.1).

Таблица 4.1 - Плотность травяного напочвенного покрова на экспериментальных участках.

№	Экспериментальный участок	Плотность травяного напочвенного покрова, кг/м ²
1	№1	0,73
2	№2	0,82
3	№3	0,86
4	№4	0,91
5	№5	0,75
6	№6	0,98
7	№7	1,1
8	№8	0,79

4.3 Результаты лабораторных исследований огнетушащей способности гидрогелей

Прежде, чем проводить полевые исследования эффективности огнетушащего действия веществ или материалов необходимо провести лабораторные испытания, в условиях отвечающих требованиям пожарной безопасности, а также воспроизводимости результатов экспериментальных исследований. Кроме этого, лабораторные условия позволяют отработать режимы подачи огнетушащих веществ в зону горения и оценить расходы огнетушащих составов для обеспечения процесса тушения. Вся эта информация потребуется для оценки масштабов (хотя бы приблизительных) проведения полевого эксперимента.

Концентрацию огнетушащего раствора гидрогелей и сопутствующих веществ осуществляли исходя из их максимальной растворимости в воде [115] (п. 2.2. табл. 2.1). В случае получения сульфата алюминия, исходный раствор создавался растворением его навески в 15 литрах воды, чтобы в пересчете на гидроксид с навесками 260, 126, 52 и 26 г (табл. 4.2). Разбавление раствора в два раза, позволяет довольно быстрой осуществить скрининг действующих концентраций и выявить пределы разбавления растворов. Растворы исследуемых гидрогелей разбавлялись до тех пор, пока не обнаружилась потеря огнетушащего эффекта (эффект от тушения сравним с эффектом от применения водопроводной воды). Вода для приготовления раствора использовалась водопроводная (г. Саратов). Навески исследуемых веществ (сульфат алюминия, бикарбонат натрия, сульфат натрия) взвешивалась на электронных технических весах с точностью ± 1 гр. Некоторую трудность для получения водных растворов представляет собой бикарбонат натрия – Na_2CO_3 (каустическая сода). Несмотря на заявленные значения растворимости 9,6 г/100 гр. воды [115] при температуре 20 °С довольно трудно получить водный раствор такой концентрации. Для интенсификации данного процесса необходимо водный раствор нагревать (до 80 °С), что довольно трудно выполнить в полевых условиях. Поэтому

растворы бикарбоната натрия готовили насыщенные (см. параграф 2.3). Таким раствором заправлялся ранцевый огнетушитель и применяли для тушения модельного пожара. Экспериментальные результаты испытания огнетушащих составов представлены в таблице 4.2.

Таблица 4.2 - Результаты испытаний огнетушащих составов

№ п/п	Состав огнетушащего средства	Масса огнетушащего вещества, пошедшая на тушение модельного очага пожара, кг	Время на тушение (первый подход), сек.	Количество операций дотушивания	Общее время тушения модельного очага пожара, сек.
1	Вода	13,5 ± 1,0	186 ± 25	6 ± 2	248 ± 25
2	Сода (насыщенный)	12,0 ± 1,0	206 ± 30	5 ± 1	276 ± 25
3	Гидрогель (260гр)	4,0 ± 1,5	63 ± 15	2 ± 1	85 ± 15
4	Гидрогель (130гр)	4,0 ± 1,5	50 ± 15	2 ± 1	95 ± 15
5	Гидрогель (52гр)	3,5 ± 1,5	38 ± 15	3 ± 1	83 ± 15
6	Гидрогель (26гр)	8,0 ± 1,5	94 ± 15	4 ± 1	122 ± 20
7	Сульфат натрия (52гр)	11,5 ± 1,0	102 ± 25	6 ± 2	142 ± 20

Анализ представленных результатов показывает выявление огнетушащего эффекта гидрогеля алюминия. Так, применяя гидрогель с концентрациями 52-260 г/15 кг воды удалось снизить расход огнетушащего раствора практически в 3 раза с 13,5 кг для воды до 3,5-4 кг для гидрогеля на основе гидроксида алюминия. Кроме этого, при тушении гидрогелем алюминия отмечено, общее снижение времени тушения пожара (табл. 4.2, столбец 4,6) и количество операций дотушивания (табл. 4.2, столбец 5). При использовании водных растворов гидрогеля на основе гидроксида алюминия с концентрацией ниже 52 г/15 кг воды огнетушащий эффект значительно снижался (повышался расход огнетушащего состава).

Проведение лабораторных экспериментов продолжалось с июля по начало октября 2014 года. Для проведения эксперимента выбирались солнечные дни с максимально высокой температурой воздуха в полдень. Для июля температура воздуха в тени в Саратове в полдень составляла 30÷33 °С, влажность воздуха

23÷25 %, атмосферной давление 758÷760 мм рт. ст. В начале октября 2014 года в полдень температура прогревалась до 20 °С на Солнце, влажность воздуха составляла 50÷60 %, атмосферное давление близко к нормальному. Для проведения эксперимента использовалась древесина (сосна обыкновенная) как в суховоздушном состоянии хранившаяся в течение 8 месяцев в сухом, закрытом отапливаемом (в зимнее) помещении, так и древесина, хранившаяся под открытым небом. Полученные экспериментальные результаты показывают, что методика оценки эффективности тушения на модельном пожаре не подвержена серьезному влиянию со стороны погодных условий, а также от условий хранения древесины перед проведением эксперимента. Разница в полученных результатах укладывается в доверительный интервал при статистической обработке экспериментальных результатов. Поэтому данные, полученные в разное время года (лето и осень) объединялись и проводилась их анализ и оценка.

При гидролизе солей всегда образуются побочные продукты: сульфат натрия - продукт гидролиза сульфата алюминия, а также бикарбонат натрия, применяющийся в избытке для усиления гидролиза. Для выявления и подтверждения огнетушащего эффекта именно гидрогеля на основе гидроксида алюминия были проведены аналогичные эксперименты с использованием в качестве огнетушащего состава водные растворы бикарбоната натрия (Na_2CO_3) и сульфата натрия (Na_2SO_4). Концентрации растворов были подобраны таким образом, что они соответствуют концентрациям указанных компонентов в огнетушащем гидрогеле. Результаты представлены в таблице 4.2, которые показывают отсутствие сколь-нибудь серьезного огнетушащего эффекта при использовании в качестве огнетушащих составов растворов сульфата натрия и бикарбоната натрия. Тем более, что карбонаты и сульфаты входят в состав некоторых огнетушащих порошков [81]. Даже если, эти вещества в отдельности и не проявляют огнетушащей способности, то должно сработать охлаждающее действие раствора из-за его большей теплоемкости по сравнению с водой. К тому же, часть энергии горения должна быть поглощена при разрушении гидратов бикарбоната натрия и сульфата натрия. Однако полученные экспериментальные

результаты (табл. 4.2) показывают, что прибавка в огнетушащей активности бикарбоната и сульфата натрия близка к величине доверительного интервала, полученного в результате статистической обработки результатов исследования и, таким образом, не является представительной.

Доказано, что наблюдаемый огнетушащий эффект происходит только за счет присутствия в гидрогеля алюминия и в основе процесса тушения древесины и древесных материалов предлагаемым огнетушащим составом лежат следующие физико-химические явления:

1. При попадании гидрогеля алюминия на поверхность горячей древесины происходит смачивание обугленной поверхности водным раствором.

2. При попадании водного раствора гидрогеля алюминия на разогретую поверхность горячей древесины происходит активное испарение воды из водного раствора и образование тугоплавкой твердой пленки стеклообразной массы гидроксида алюминия.

3. Твердая стеклообразная пленка гидроксида алюминия препятствует химическому взаимодействию кислорода воздуха с древесиной и не претерпевает изменений на разогретой поверхности.

В результате взаимодействия предлагаемого огнетушащего состава с огнем и разогретыми поверхностями горючего вещества реализуются следующие огнетушащие эффекты:

1. Поглощение тепловой энергии из очага пожара на испарение воды из раствора гидрогеля алюминия. Тем самым, осуществляется передача теплоты выделяемой при горении инертному теплоносителю – воде, уменьшая эффективность термического разложения древесины и подавления процесса образования горючих газов и реализации пламенного горения.

2. Устойчивое укрытие твердой поверхности горячей древесины твердой тугоплавкой пленкой оксида алюминия, являющейся диэлектриком и непроницаемой к кислороду воздуха.

Косвенно подтвердить второй огнегасящий фактор можно наблюдением значительного снижения выделения дыма при осуществлении огнетушения с

помощью водного раствора гидрогеля на основе гидроксида алюминия. А после первого повторного дотушивания дымление практически прекращалось, что свидетельствует о подавлении взаимодействия горючего вещества с кислородом воздуха, осуществляемым в режиме беспламенного горения – являющегося возможным источником повторного воспламенения.

4.4 Результаты лабораторных исследований огнезащитных свойств химических составов

Исследование огнезащитных свойств веществ и материалов представляет собой довольно трудную задачу для проведения экспериментального исследования. С одной стороны в ходе лабораторного испытания должны быть воспроизведены природные условия (во всей их сложности), с другой эксперимент должен давать четкие однозначные ответы о наличии или отсутствии огнезащитного воздействия веществ (или материалов) на ЛГМ. Кроме этого, экспериментальные результаты должны обладать воспроизводимостью, т.е. давать сходные результаты при проведении параллельных (или последовательных) испытаний. Описание методики проведения эксперимента представлена в п. 2.5.

Для проведения экспериментальных исследований по выявлению огнезащитной способности были выбраны: гидрогель алюминия, гидрогель магния, тетраборат натрия и хлорид натрия. Первые три вещества, согласно литературным данным [20, 160] обладают огнезащитным действием, и применяются в промышленности для снижения пожаро-опасных свойств строительных материалов, изготовленных из древесины или пластических масс. Четвертое вещество (хлорид натрия) был выбран для оценки его возможной огнетушащей активности, т.к. является побочным компонентом гидролиза хлорида магния. Хлор, наряду с алюминием, магнием и бором, также является ингибитором горения, т.к. его соединения с углеродом способны подавлять горение [20, 160]. Применение соединений алюминия, магния и бора в полевых

условиях не должны обладать негативными экологическими последствиями, т.к. алюминий сходит в состав минерального скелета почвы – алюмосиликатов, магний входит в состав природной воды и хлорофила – обязательного фотосинтезирующего компонента клеток (хлоропластов) зеленых растений, а бор наряду с кальцием участвует в укреплении клеточной стенки растительных организмов.

Перед проведением испытания огнезащитного действия выбранных веществ были проведены исследования необходимого взаимного расположения образца (рейки, шпагата) относительно источника зажигания. Методика экспериментального исследования представлена в Главе 2 (см. параграф 2.5). Наиболее оптимальным представлялось расположение исследуемого образца непосредственно над источником зажигания за пределами зоны пламенного горения пропан-бутановой смеси. В этом случае, образец обогревается продуктами горения, а необходимый для горения кислород увлекается вместе с восходящим потоком горячих газов. Важным при проведении такого исследования является вопрос на каком расстоянии от зоны горения расположить исследуемый образец. Ответ на данный вопрос сложен, т.к. в нем пересекаются требования обеспечения условий близких к природным и требования по возможности обеспечения четкой фиксации момента возгорания и воспроизводимости полученных результатов. С точки зрения воспроизводимости результатов исследования, чем больше времени уйдет на проведение эксперимента, тем точнее (при прочих равных условиях) можно получить результат (измерить время). Однако, увеличение длительности эксперимента ведет к уменьшению числа экспериментов за один экспериментальный день, росту затрат на расходные материалы и т.п. Для определения оптимального времени на обогрев исследуемого образца была определена зависимость времени воспламенения образца от расстояния до зоны горения. Для получения более достоверных данных, эксперимент провели не менее 5 раз. Для этого, экспериментальный образец закрепляли на штативе на расстоянии 7, 8, 9 и 10 см от источника воспламенения. Полученные усредненные экспериментальные

данные 0,45 мин, 3,67 мин, 19,5 мин и более 20 минут, соответственно, и определили минимальное расстояние экспериментального образца от источника возгорания (8 см), при котором испытуемый образец воспламенялся за время 3-5 минут. Результаты исследований представлены на рисунке 4.3.

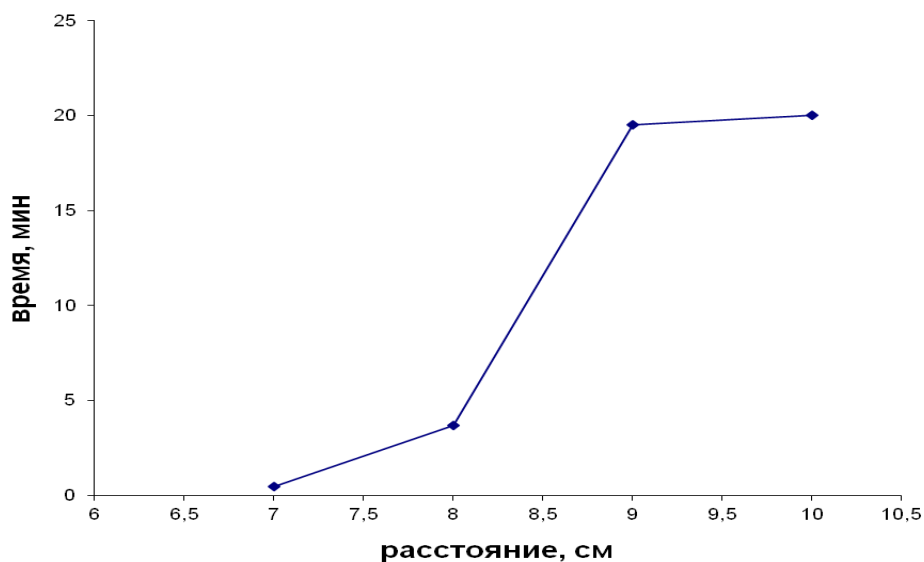


Рисунок 4.3 - Зависимость среднего времени воспламенения образца от расстояния до зоны горения

Оптимальным временем проведения такого эксперимента, по нашему мнению, является 5 мин, т.к. позволяет довольно точно определить зафиксировать его окончание по воспламенению образца и получить хорошую воспроизводимость результатов. Максимальное же время воздействия источника зажигания на исследуемый образец было установлено в 20 минут. Это значение получено в ходе анализа литературных данных по длительности горения фрагментов растительных материалов способных переноситься по воздуху под действием ветра [53]. Таким образом, если в течение 20 мин исследуемый образец не воспламенился, то эксперимент можно считать завершенным, т.к. в течение этого времени материал горящего фрагмента (предполагаемого источника зажигания) полностью выгорит и перестанет быть возможным источником зажигания. При таких условиях проведения эксперимента, лабораторное испытание позволяет выполнить от 3 до 12 экспериментов за один астрономический час, что является приемлемым. В таблице 4.3 представлены

результаты исследования огнезащитного действия выбранных веществ на образцы древесных (рейки 10×10 мм) и волокнистых материалов (льнопеньковый шпагат). Параметр n характеризует число параллельных экспериментов.

Таблица 4.3 - Результаты исследования огнестойкости древесного и волокнистого растительных материалов при обработке различными типами антипиренов

С, г/л	Древесина				Волокнистый шпагат		
	n	t_1 , мин	N	t_2 , мин	n	t_1 , мин	t_2 , мин
Гидрогель алюминия (при гидролизе сульфата алюминия)							
0	18	3,67	-	-	6	2,69	-
1,7	6	16,60	4	14,43	8	6,4	11,2
3,5	4	18,76	6	> 20	6	5,58	9,12
8,4	4	> 20	6	> 20	6	11,71	>20
Гидрогель магния (при гидролизе хлорида магния)							
0	18	3,67	-	-	6	2,69	-
6,5	7	2,98	7	3,14	6	3,15	5,71
52,5	5	9,12	5	8,52	6	3,73	6,82
110,0	4	8,15	6	>20	6	9,22	>20
176,0	4	>20	3	>20	6	>20	>20
Хлорид натрия							
0	18	3,67	-	-	6	2,69	-
26,0	6	4,68	5	9,66	6	3,17	10,3
52,5	4	7,79	3	12,51	6	3,02	9,17
Тетраборат натрия							
0	18	3,67	-	-	6	2,69	-
13	4	>20	2	>20	6	15,70	>20

Время t_1 и t_2 – представляет собой среднее время (в серии экспериментов) воспламеняемости одно- и двукратно обработанных растворами огнезащитных составов образцов имитирующих растительные материалы. Одно и двукратная обработка предполагает выявить влияние кратности обработки в случае невозможности получения необходимой концентраций огнетушащих составов (из-за ограничения в растворимости).

Основываясь, на полученных экспериментальным путем данных, можно заключить следующее, что среди исследуемых образцов наибольшим огнезащитным действием обладают соединения алюминия и бора. Хлорид магния проявляет огнезащитные свойства, в условиях эксперимента, только при очень высоких концентрациях 52-176 г/л. Большую (>176 г/л) концентрацию хлорида магния в лабораторных условиях получить не удалось. Хлорид натрия оказался не

способным предотвратить возгорание образцов ни древесного, ни волокнистого материалов до концентрации раствора в 52,5 г/л и даже в случае применения двукратной обработки. Интересно отметить, что полученные нами данные согласуются с литературными, т.к. соединения алюминия и бора наиболее часто используются в качестве компонентов огнезащитных составов при изготовлении строительных материалов [101]. Удивительным оказалось то, что в ходе испытаний не удалось выявить сколь-нибудь значительного огнезащитного действия гидрогеля магния при низких концентрациях. Высокие концентрации гидрогеля магния в значительной степени осложняют приготовление его растворов в полевых условиях, а также это приведет к удорожанию процедуры обработки элементов природного ландшафта огнезащитными составами на его основе.

Повышение концентрации растворов огнезащитного средства в большинстве случаев приводит к увеличению времени сопротивления образцов возгоранию, такая же картина наблюдается и с повышением кратности обработки образцов огнезащитным раствором. Оба эти параметра оказались аддитивно связаны между собой, что объясняется эффектом сложения масс огнезащитных составов, попавших на поверхность защищаемого материала, что напрямую свидетельствует о количественном переносе огнезащитного состава на исследуемый образец.

Анализ результатов обработки волокнистых материалов по сравнению с древесными выявил, в большинстве случаев, меньшее огнезащитное действие исследуемых огнезащитных составов на волокнистые материалы по сравнению с древесными. Исключение составляет только обработка образцов раствором тетрабората натрия с концентрацией 13 г/л, который оказался способен защитить в течение 20 минут образцы как древесных, так и волокнистых материалов.

Наблюдение за воздействием источника зажигания на обработанные и необработанные огнезащитными составами образцы показало обязательное наличие стадии обугливания образца, но на образцах, обработанных раствором антипирена обугливание и воспламенение начиналось несколько позже. Начиная с некоторого порога концентрации исследуемого огнезащитного материала (см.

табл. 4.3) в растворе в течение 20 минут наблюдалось обугливание образцов древесных и волокнистых материалов, без последующего воспламенения.

4.5 Результаты полевых исследований огнетушащих свойств исследуемых составов

Низовой лесной пожар протекает в сложных физико-химических условиях определяемых огромным количеством факторов (см. главу 1 параграф 1.2). Воспроизвести эти факторы, даже частично при проведении лабораторных испытаний практически невозможно. Именно поэтому, необходимо провести полевые испытания, т.к. природные условия протекания лесного низового пожара при этом будут близки к реальности, что является несомненным преимуществом.

Несмотря на все преимущества полевого испытания над лабораторными при проведении эксперимента в естественных (для лесного низового пожара) условиях возникает много факторов, напрямую воздействующих процесс горения и распространения пожара и, следовательно, на результаты полевых испытаний и не контролируемых в ходе проведения эксперимента. К таким факторам, относятся: (1) растительный биоценоз, а точнее, его видовой состав и плотность напочвенного травяного покрова; (2) запасы природных горючих материалов на единице площади экспериментального участка; (3) скорость и направление ветра, дующего в приземном слое атмосферы, особенно при наличии порывов; (4) ширина кромки низового пожара, как суперпозиция, скорости распространения пламени по природному ландшафту и скорости выгорания лесных горючих материалов. Первый и второй фактор можно просто учесть в ходе проведения экспериментов, третий и четвертый факторы контролю не поддаются и остается либо проводить эксперименты в периоды стабилизации погодных условий (3 фактор), либо использовать как экспериментальные результаты (4 фактор).

На первом этапе было проведено исследование горения участка местности для определения ширины кромки пожара и высоты образуемого ЛГМ пламени (рис. 4.4).



Рисунок 4.4 - Участок после исследования тушения низового пожара

Данная информация необходима для более точной оценки процесса горения происходящего на данном участке, а также для оценки быстроты проведения эксперимента по тушению, для обеспечения максимально возможной точности в количественной оценке расхода огнетушащего состава (ОТС). Дело в том, что скорость распространения пламени при сложившихся погодных условиях может быть больше скорости тушения, из-за этого, в процессе эксперимента, кромка пламени достигнет границы участка быстрее, чем будет осуществлено ее тушение. В таком случае эксперимент необходимо будет признать неудачным и результаты его нельзя будет учесть для общей оценки эффективности применения ОС. Предварительные исследования показали, что в сложившихся погодных условиях ширина экспериментальных участков должна составлять не менее 5 метров.

Как было отмечено выше, ширина кромки пожара определяется отношением скорости горения материалов, накопленных на поверхности почвы и скорости распространения пламени по слою горючего материала. Второй

параметр больше зависит от погодных условий, а именно от скорости ветра в данной местности и в данное время. Исследование горения на экспериментальных участках процесс достаточно скоротечный, поэтому ширину кромки пожара определяли по анализу видеозаписи процесса распространения пламени и определения времени достижения пламенем разметочных линий на участке. Исследования показали, что скорость распространения пламени составляет 3-3,5 м/мин для штиля, 5-6 м/мин для скорости ветра 3-6 м/с, порывы ветра свыше 10 м/с приводили к кратковременному повышению скорости движения кромки и последующему срыву пламени с горючего материала и ветровое тушению пожара. Таким образом, участок шириной 5 метров выгорает за 60-90 сек при штиле, за 20-40 сек при 3-6 м/с. При порывах ветра (более 10 м/с) в отдельных участках травостоя наблюдалось движение кромки пожара со скоростью 10-12 м/мин, а на отдельных участках происходил срыв пламени и ветровое тушение кромки низового пожара.

Несмотря на выбор участков для исследования горения и огнетушения с равномерным травостоем, скорость горения в разных частях участка была различной, что обуславливало непрямолинейную форму кромки пожара, форма которой была далека от трапецевидной. В отдельных частях исследуемого участка скорость движения кромки пламени в 1,5-2 раза превышала среднюю скорость перемещения кромки. Свой вклад в неравномерность кромки пожара осуществляет и процесс поджога с помощью аппарата зажигательного АЗ-4 («Ермак», Россия), применение которого не в состоянии обеспечить равномерный поджог сразу всей стороны исследуемого участка, т.к. для проливки зоны розжига необходимо какое-то время.

В ходе проведения эксперимента было проведено изменение еще одного параметра - высоты пламени, формируемого при горении ЛГМ. Оценка данного параметра проводилась путем измерения высоты обгоревшего слоя на вешках и составила от 0,35 – 0,5 м (рис. 4.5). Тем не менее, данный параметр довольно условный, т.к. высота пламени в значительной степени зависит от скорости ветра, что на открытой местности является решающим фактором. Ветер «отклоняет»

зону выделения горючих газов (зону горения) от вертикального направления, причем чем выше скорость ветра, тем больше угол наклона зоны горения отклоняется от вертикали. Поэтому измеренная высота пламени имеет довольно условный характер.

Тушение кромки пожара осуществлялась в два этапа: (1) подачей огнетушащего состава в зону горения ручным способом до исчезновения пламенного горения; (2) наблюдение за выделением дыма на экспериментальном участке и осуществления (в случае необходимости) операции дотушивания при повторном самопроизвольном возникновении горения (рис. 4.5).



Рисунок 4.5 - Тушение, окарауливание и дотушивание кромки низового пожара

Тушение осуществляли водой, водными растворами гидрогеля алюминия различных концентраций и водными растворами соединения бора - *буры* (табл. 4.3). Для повышения объективности оценки расхода ОТС на разных участках изменяли последовательность действий следующим образом: сперва тушение осуществляли водой, а затем гидрогелем алюминия определенной концентрации, затем наоборот. В задачу тушения входило прекращение горения с минимально возможным расходом ОТС. Усредненные данные представлены в таблице 4.4, N – число параллельных экспериментов.

Таблица 4.4 - Определение расхода ОС при тушении кромки пожара

Наименование ОС	N	Расход ОС на периметр, кг/м	Расход ОС на площадь, кг/м ²	Расход ОС на массу природного горючего материала, кг/кг	Абсорбция энергии горения единицей массы ОТС*, МДж/кг
Вода	24	0,22±0,05	0,50±0,10	≈0,63	≈21,5
Гидрогель алюминия (1,7 г/л)	3	0,19±0,09	0,56±0,15	≈0,54	≈24,9
Гидрогель алюминия (3,5 г/л)	3	0,1±0,04	0,24±0,12	≈0,29	≈47,3
Гидрогель алюминия (7 г/л)	3	0,09±0,04	0,25±0,10	≈0,26	≈52,5
Гидрогель алюминия (14 г/л)	3	0,11±0,03	0,23±0,11	≈0,31	≈43,0
Гидрогель алюминия (28 г/л)	3	0,10±0,05	0,22±0,09	≈0,29	≈47,3
Гидрогель алюминия (7 г/л) <i>через 60 мин после получения</i>	3	0,25±0,04	0,61±0,07	≈0,71	≈18,9
Сульфат натрия (28 г/л)	3	0,23±0,04	0,55±0,12	≈0,66	≈20,5
Карбонат натрия (насыщенный раствор)	3	0,25±0,09	0,49±0,18	≈0,71	≈18,9

* расчеты авторов с применением данных работы [29] по низшей теплоте сгорания соломы

Полученные данные (табл. 4.4.) показывают, что на тушение 1 м кромки низового пожара, в среднем, потребовалось 0,21 кг воды (при средней ширине кромки пожара 0,3÷0,4 м), а гидрогеля алюминия (ГА) потребовалось только 0,09-0,1 кг, что 2,3 раза меньше, чем воды. При оценке эффективности тушения пожара на его общую площадь площади пожара ушло, в среднем, 0,52 кг/м² воды, а ГА только 0,23 кг, что в среднем в 2,3 раза меньше. Наименьший средний расход ГА для тушения кромки пожара составил 0,09-0,11 кг/м при концентрации

3,5-14 г/л. При этом увеличение концентрации ГА в воде с 7 до 28 г/л, т.е. в 4 раза не дает сколь-нибудь значительной прибавки в эффективность тушения и ведет, фактически, только к перерасходу ОТС. Такой результат можно объяснить тем, что при интенсивном горении ЛГМ, в условиях малой влажности и малой поверхностной плотности горючих материалов на почве, большая часть выливаемого жидкого раствора просто не попадает на горящий материал, а того количества, которое все же входит в контакт с горящим ЛГМ, хватает для тушения. Для обеспечения тушения необходимо некоторое минимальное количество ОТС, а в связи с этим, подача большего количества не дает вклада в повышение эффективности тушения. Таким образом, минимальное требуемое количество ОТС на основе ГА, расходуемое на тушение, обеспечивается ГА с концентрацией в пределах 3,5-7 г/л.

Если вычислить длину потушенной кромки и ее, хотя бы приблизительную ширину (0,3÷0,4 м), можно оценить действительную площадь зоны, в которую был подан исследуемый ОТС. Результаты расчетов показывают, что расход ОТС составляет 0,25-0,3 кг/м². Определив среднюю массу ЛГМ растительного происхождения (травяного покрова и растительных остатков) на исследуемых участках в 0,7-1,1 кг/м², то есть возможность рассчитать расход ОТС на единицу массы природного горючего материала (табл. 4.4). Это значение в ходе эксперимента с применением в качестве ОТС - ГА (3,5-7,0 г/л) составило 0,27-0,36 кг/кг. Ориентируясь на низшую теплоту сгорания соломы, которая при 20% влажности составляет 13,5 МДж/кг [29] можно рассчитать энергию горения, которую способна поглотить единица массы ОТС. Полученные результаты представлены в таблице 4.4. Следует учесть, что в столбцах 5 и 6 таблицы 4.4 представлены данные, полученные при использовании как собственных экспериментальных данных, так и известных литературных значений. Полученные результаты, представленные в 5 и 6 столбцах таблицы 4.4 несут в себе некоторый условный характер, поэтому и отмечены знаком “≈” (приблизительно).

Если предположить (довольно условно), что общая огнетушащая способность является суммой огнетушащих эффектов, складывающих процесс тушения, тогда можно, хотя бы приблизительно рассчитать вклад изоляции и ингибирования, которыми обладает ОТС на основе ГА. Вычитая из общего вклада в огнеподавление, который обеспечивает ГА (7 г/л), который способен противостоять тепловыделению 52,5 МДж/кг, вклад который дает водопроводная вода (21,5 МДж/кг), тогда получаем, что общий вклад в тушение путем изоляции и ингибирования позволяет бороться с тепловыделением в 30 МДж/кг или 57% против 43% энергии поглощаемой водой (охлаждением).

ГА является водным раствором, содержащим несколько растворенных компонентов: сам ГА, ионы кальция, магния, калия, натрия, гидрокарбонат-ионы и т.п. содержащиеся в природной, а следовательно, и в водопроводной воде, кроме этого в растворе присутствуют другие продукты гидролиза – сульфат-ионы и т.п. Для выявления вклада в огнетушащий эффект именно присутствия в ОТС соединений алюминия были проведены дополнительные испытания с применением насыщенного раствора карбоната натрия (сода) и сульфата натрия (28 г/л). Данные таблицы 4.4 свидетельствуют о том, что огнетушащая эффективность водных растворов бикарбоната и сульфата натрия не отличается от таковой для водопроводной воды применения воды. Что наглядно подтверждается результатами лабораторных испытаний исследуемых ОТС (см. п. 4.2).

При возможной реализации в ходе тушения кромки лесного низового пожара, одновременно нескольких огнеподавляющих эффектов (охлаждения, изоляции и, по-видимому, ингибирования) присущих ГА чрезвычайно трудно выделить вклад каждого из них в процесс тушения пожара. Тем не менее, в ходе проведения полевого испытания неоднократно отмечалось, что при применении ГА с повышением его концентрации в водном растворе наблюдалось все меньше участков для проведения операции дотушивания, а также наблюдалось меньшее выделение остаточного дыма после ликвидации пламенного горения. Аналогичный эффект наблюдался при применении ГА для тушения модельного

очага пожара. Это, хотя и косвенно, свидетельствует о реализации процесса подавление горения на атомно-молекулярном уровне и активной борьбой с очагами тления, находящимися в объеме ЛГМ. Таким образом, применение ГА позволяет не только эффективно сбивать пламя, расходуя при этом в 2-3,5 раз меньше ОТС на тушение, но подавлять очаги тления, которые доставляет немало хлопот при тушении низовых природных пожаров.

Следует отметить, что гидрогель алюминия – «скоропортящийся продукт», поэтому для проверки его действия при длительном хранении был проведена серия экспериментов в условиях распада его коллоидного раствора и выпадения кристаллического осадка гидроксида алюминия в осадок на дно и стенки емкости ранцевого огнетушителя. Результаты, приведенные в таблице 4.4 свидетельствуют, что спустя 60 минут после приготовления гидрогеля он, как и предполагалось, полностью теряет свою эффективность, т.к. расходы таких ОТС на тушение единицы длины кромки низового пожара не отличаются от таковых для водопроводной воды.

Технологические параметры применения гидрогеля алюминия для тушения кромки пожара с применением ранцевого огнетушителя типа РП-18 («Ермак», Россия). Для того чтобы разработать технологию для тушения кромки пожара жидким огнетушащим препаратом при помощи ранцевого огнетушителя РП-18 («Ермак», Россия) необходимо определить оптимальный расход огнетушащего раствора (см. табл. 4.5).

При применении ручного способа подачи ОТС необходимо учитывать недостатки, перечисленные выше для ручного способа опрыскивания. Для уменьшения расхода рабочего раствора наносимого на 1 м^2 , оптимальным решением является создание рабочего раствора с концентрацией 630 г/15 л, с расходом $0,0125 \text{ л/м}^2$. В таком случае одной заправки опрыскивателя «Ермак» РП 18 (15 л) хватит на обработку 90 м^2 .

Таблица 4.5 - Технологические параметры для тушения кромки пожара жидким раствором сульфата алюминия при помощи ранцевого огнетушителя РП-18 («Ермак», Россия)

Норма внесения порошка сульфата алюминия в объём жидкости, г/л	Объём жидкости, для растворения нормы порошка сульфата алюминия, л	Норма внесения порошка сульфата алюминия в объём жидкости 15л, г/15л	Площадь, обработанная раствором, м ²	Расход раствора, л/м ²
7	15	105	15	1
14		210	30	0,5
21		315	45	0,25
28		420	60	0,05
35		525	75	0,025
42		630	90	0,0125
49		735	105	0,0056
56		840	120	0,0028
63		945	135	0,0014
70		1050	150	0,0007

4.6. Результаты полевых исследований огнезадерживающих свойств химических составов

Тушение лесного пожара – комплексная задача, которая входит в состав организационных и технических мероприятий, называемых борьбой с лесными пожарами. Для того, чтобы потушить лесной пожар, совсем не обязательно приглашать лесных пожарных, достаточно создать условия, препятствующие его росту и распространению.

Лесной низовой пожар распространяется своей кромкой, равномерно (или не очень) выжигая напочвенные лесные горючие материалы, подрост, кустарниковую растительность и т.п. Таким образом, уязвимым местом лесного низового пожара является процесс перехода зоны горения с одного участка местности заполненного ЛГМ на другой. Если разорвать цепочку перехода

пламени с одной порции ЛГМ на другую, например, удалив напочвенный покров, прервать распространение пожара и добиться его тушения. Таким образом поступают, обустроив минерализованные полосы, обрабатывая почву специальными почвообрабатывающими орудиями – лесопожарными плугами серии ПКЛ. Тем не менее, как было показано в п. 1.3. минерализованная полоса не является абсолютной преградой для распространения низового пожара. Причина – недостаточная ширина самой полосы, позволяющая ветру переносить над ней горящие фрагменты ЛГМ (см. п. 1.3.).

Для разработки эффективных противопожарных мероприятий, направленных на сдерживание распространения лесного низового пожара, необходимо оценить геометрические размеры противопожарных барьеров, адекватные складывающимся природным условиям распространения пожара. Под геометрическими размерами понимаем длину и ширину огнезадерживающей полосы. Длина полосы должна обеспечивать ее протяженность необходимую для защиты лесного массива – опоясывание – или покрывать расстояние от одного естественного или искусственного противопожарного барьера до другого.

Ширину барьера или расположение барьера от границы леса (опушки) определить несколько сложнее, т.к. на этот параметр одновременно зависит от нескольких факторов, главным из которых является способность горящий фрагментов ЛГМ к переносу под действием ветра. При низовом пожаре горят ЛГМ расположенные непосредственно у подножий деревьев, тем не менее, благодаря наличию конвективного потока продуктов горения небольшая часть горящий фрагментов ЛГМ способна быть увлечена и поднята над поверхностью почвы на несколько метров. В этот момент горящие частицы подхватываются ветром и переносятся в пространстве на некоторое расстояние.

Конвективные потоки создают вертикальную составляющую скорости перемещения частицы, ветер создает горизонтальную. Складывая векторы вертикальной и горизонтальной составляющих мы получаем два участка движения подъем и падение.

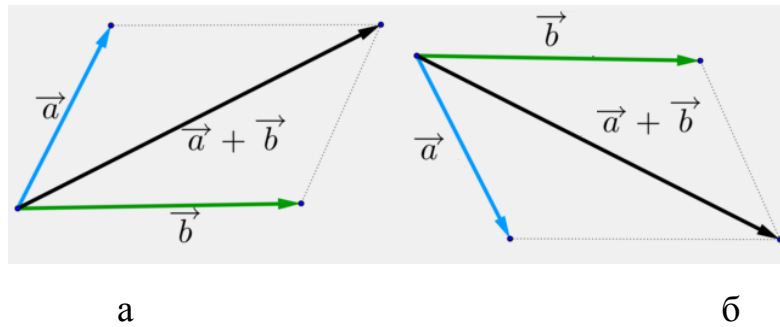


Рисунок 4.6 - Схемы перемещения тела в пространстве под действием внешних сил для случая подъема (а) и падения (б) горячей частицы

Подъем частицы происходит в том случае, когда подъемная сила конвективного потока превышает силу притяжения Земли. Падение частицы происходит при выходе частицы из зоны конвекции – сила притяжения начинает превалировать, и частица снижается и, в конечном итоге, падает на поверхность почвы. Дальность перелета частицы будет зависеть от мощности конвективного потока, размера фрагмента ЛГМ, его массы, формы, скорости ветра и т.п.

Дальность перелета горящих фрагментов описывается следующим уравнением:

$$L = H \cdot \frac{V_{\text{част}}}{V_{\text{пад}}},$$

где H – высота выпадения горячей частицы из конвективного потока, м; $V_{\text{ветра}}$ – скорость ветра, м/с, $V_{\text{пад}}$ – скорость падения горячей частицы.

Данное уравнение обладает достаточно простой формой, тем не менее, входящие в нее составляющие являются комплексными, рассчитать которые составляет значительную трудность, поэтому для их вычисления применяются экспериментальные данные [37] и предположения, что, например, $V_{\text{част}} = V_{\text{ветра}}$. Тем не менее, данное условие не верно с физической точки зрения, т.к. для того чтобы достигнуть данного равенства, частица должна иметь значительное аэродинамическое сопротивление и должно пройти достаточно времени для того, чтобы частица набрала нужную скорость. При этом время падения частицы на землю даже с высоты 15-20 метров не позволяет ей этого сделать и тогда будет верным соотношение $V_{\text{част}} = K_n \cdot V_{\text{ветра}}$, где K_n – коэффициент переноса частицы по ветру (безразм.), значение которого изменяется от 0 до 1. В диапазон значений

В работе [37] указывается, что чаще всего при лесном пожаре образуются частицы шарообразной и цилиндрической формы. Зная величину силы переноса, которую можно вычислить по $F_{пер} = \frac{1}{2} C_x \cdot \rho \cdot S \cdot V^2$, где C_x – коэффициент аэродинамического сопротивления, ρ – плотность воздуха кг/м³; S – площадь поперечного сечения тела, V – скорость ветра, м/с, есть возможность определить ускорение тела (из второго закона Ньютона), а от ускорения через интегрирование перейти к скорости горизонтального переноса тела. Умножив скорость падения тела на время падения (t_n), которое определяется из соотношения $t_{пад} = \sqrt{\frac{2h}{g}}$, где h – высота падения частицы, м; g – ускорение свободного падения тела в гравитационном поле Земли, м/с², ($g=9,81$ м/с²), можно получить дальность переноса частицы: $L = V_{пер} \cdot t_{пад}$. Из соотношения скорости переноса к скорости ветра можно вычислить величину коэффициента переноса (K_n). Таким образом, дальность перелета горящих частиц можно рассчитать по уравнению: $L = K_n \cdot V_e \cdot t_{пад}$. Все вышеперечисленные параметры были вычислены и их значения представлены в таблице 4.6.

Таблица 4.6 - Зависимость коэффициента переноса горящих частиц от высоты подъема и размера горячей частицы (шар)

H _д , м	V _в , м/с	Коэффициенты переноса для горящих частиц шарообразной формы							
		D=5 мм	D=6 мм	D=7 мм	D=8 мм	D=9 мм	D=10 мм	D=11 мм	D=12 мм
5	1	0,159	0,133	0,114	0,100	0,089	0,080	0,072	0,066
	2	0,319	0,266	0,228	0,199	0,177	0,159	0,145	0,133
	3	0,478	0,399	0,342	0,299	0,266	0,239	0,217	0,199
	5	0,797	0,664	0,570	0,498	0,443	0,399	0,362	0,332
10	1	0,226	0,188	0,161	0,141	0,125	0,113	0,103	0,094
	2	0,451	0,376	0,322	0,282	0,251	0,226	0,205	0,188
	3	0,677	0,564	0,483	0,423	0,376	0,338	0,308	0,282
	5	1,000	0,940	0,805	0,705	0,626	0,564	0,513	0,470
15	1	0,276	0,230	0,197	0,173	0,153	0,138	0,126	0,115
	2	0,552	0,460	0,395	0,345	0,307	0,276	0,251	0,230
	3	0,829	0,691	0,592	0,518	0,460	0,414	0,377	0,345
	5	1,000	1,000	0,986	0,863	0,767	0,691	0,628	0,575
20	1	0,319	0,266	0,228	0,199	0,177	0,159	0,145	0,133
	2	0,638	0,532	0,456	0,399	0,354	0,319	0,290	0,266
	3	0,957	0,797	0,683	0,598	0,532	0,478	0,435	0,399
	5	1,000	1,000	1,000	0,997	0,886	0,797	0,725	0,664

В работе [37] показано, что время горения самых крупных частиц достигает 450 с, при этом $t_{\text{пад}}=1-2$ с. поэтому $t_{\text{пад}} \ll t_{\text{гор}}$ и изменением массы и формы частицы во время переноса можно пренебречь. Учитывая все вышеперечисленные факторы, были проведены расчеты дальности переноса горящих частиц шарообразной формы и результаты представлены в табл. 4.7.

Таблица 4.7 - Зависимость дальности перелета фрагментов горящего материала от высоты дерева и размера горячей частицы

H _д , м	V _в , м/с	Дальность перелета фрагмента горящего материала, м							
		D=5 мм	D=6 мм	D=7 мм	D=8 мм	D=9 мм	D=10 мм	D=11 мм	D=12 мм
5	1	0,36	0,28	0,22	0,18	0,15	0,13	0,11	0,10
	2	1,44	1,10	0,87	0,71	0,59	0,50	0,44	0,39
	3	3,24	2,48	1,95	1,58	1,34	1,12	0,99	0,87
	5	7,21	5,50	4,35	3,52	2,97	2,50	2,20	1,93
10	1	1,02	0,78	0,61	0,50	0,42	0,35	0,31	0,27
	2	4,08	3,11	2,46	1,99	1,68	1,41	1,25	1,09
	3	9,18	7,00	5,53	4,49	3,78	3,18	2,80	2,46
	5	18,09	15,55	12,28	9,97	8,40	7,07	6,23	5,45
15	1	1,87	1,43	1,13	0,91	0,77	0,65	0,57	0,50
	2	7,50	5,71	4,51	3,66	3,09	2,60	2,29	2,00
	3	16,86	12,86	10,16	8,24	6,95	5,85	5,15	4,51
	5	27,13	24,82	22,57	18,31	15,43	13,00	11,44	10,02
20	1	2,88	2,20	1,74	1,41	1,19	1,00	0,88	0,77
	2	11,54	8,80	6,95	5,64	4,75	4,00	3,52	3,09
	3	25,96	19,79	15,64	12,68	10,69	9,00	7,93	6,94
	5	36,18	33,10	30,50	28,19	23,76	20,01	17,62	15,43

Анализ полученной информации свидетельствует о том, что минерализованную полосу шириной 4,2 метра способна преодолеть частица размером 5 мм, упавшая с высоты 5 метров при скорости ветра 2 м/с. Увеличив скорость ветра до 4 м/с, такая частица способная преодолеть уже 9 м. Максимальное же расстояние в применяемой модели составляет 36 метров – в результате падения частицы (5 мм) с высоты 20 м, скорости ветра 4 м/с. Огнезащитный барьер шириной 1,5 метра преодолит горящими частицами размером до 8 мм упавшими с высоты 5 м при скорости ветра 3 м/с.

Полученные в табл. 4.6 результаты нашли экспериментальной подтверждение при собственных исследованиях и при анализе данных переноса

частиц опубликованных в работах [90, 185]. Полученные экспериментальные данные сходятся с расчетными в пределах 10%, так шарообразное тело, падающее с высоты 1,45 м, массой 0,04 г, с площадью поперечного сечения 28 мм², при скорости ветра 3 м/с обязано переместиться в горизонтальном направлении 0,39 м, тогда как эксперимент показывает что частица переместилась в среднем на 0,35...0,37 м, что составляет 89% от расчетного. Максимальную скорость переноса горящих частиц удалось экспериментально зафиксировать в работе [90], где при скорости потока воздуха 10 м/с, горящая частица переместилась на 4.3 метра. Расчет показывает, что ее скорость составила 9,91 м/с, что составляет 99% от скорости ветра. Следует отметить, что при скоростях ветра более 10 м/с наблюдается формирование подъемной силы [148] препятствующей падению частиц на поверхность Земли. Именно поэтому при верховых пожарах дальность перелета горящих частиц может составить 1 ... 1,5 км.

Анализ полученных результатов показывает, что горящие частицы, забрасываемые на высоту 5-20 метров конвективным потоком способны пролететь от 1,45 до 36,18 метров, что в значительной степени превышает среднюю ширину минерализованной полосы в 4,2 метра. Известно, что минерализованные полосы строят шириной от 1,4 - 9 м, более широкие строить не целесообразно ни с точки зрения вероятности, ни экономической точки зрения. Но на практике в лесных массивах обустраивают минерализованные полосы шириной менее 1 м.

Всеми преимуществами минерализованной полосы обладают барьеры, получаемые контролируемым отжигом территории. Контролируемый отжиг (или встречный пал) - это принудительное выжигание ЛГМ на определенной территории для минерализации напочвенного покрова. Методика встречного пала довольно проста [131, 156], но вместе с тем и опасна, т.к. в случае потери контроля над горением, можно получить еще один очаг лесного пожара.

Совместить требования к геометрическим параметрам и безопасность обустройства огнепреграждающих барьеров позволят *огнезащитной полосы* - участки естественной или искусственно высаженной растительности,

обладающей пониженной горючестью, достигнутой путем ее обработки специальными огнезащитными средствами (составами) [140]. Такие барьеры могут создаваться как в целях борьбы с природными пожарами - для ограничения распространения лесного пожара, создания «ловушек» и облегчения тушения лесных низовых пожаров. Огнезащитные полосы могут применяться, в случае невозможности (нецелесообразности) построения минерализованной полосы вокруг пожароопасных объектов или расширения защитных полос в случае недостаточности их защитного действия [140]. Преимущества огнезащитной полосы очевидны: (1) значительное снижение трудовых и энергетических затрат на ее построение; (2) отсутствие необходимости в операции по резанию грунта; (3) снижение времени построения; (4) нетребовательность к применяемому оборудованию, типу грунта и типу травостоя и т.п. Для построения огнезащитной полосы можно применять автоматизированные системы – штанговые опрыскиватели, способные создавать за один проход полосу шириной до 36 метров.

Таким образом, сформулированы требования к геометрическим параметрам, обсуждены преимущества огнезащитных полос по сравнению с аналогичными искусственными противопожарными барьерами. Поэтому необходимо приступить к обсуждению постановки полевых испытаний и исследованию огнезащитных свойств таких барьеров.

Методика исследования огнезащитных свойств объектов изложена в п. 2.6. Она предполагает изучение огнепреграждающих свойств при фронтальном и фланговом распространении кромки низового пожара. Такой эксперимент задуман с целью дать ответ на вопрос, каковы пределы защитного действия огнезащитной полосы и какова минимальная ширина такой полосы, дающая 100% гарантию от распространения кромки низового пожара. Для создания такого огнепреграждающего барьера были использованы соединения алюминия и бора – наиболее распространенные вещества, используемые в качестве огнезащитных составов [94, 137]. Для создания огнезащитных составов было принято решение использовать те же концентрации растворов, что использовались при испытании

огнетушащей способности (см. п. 2.4). Для гидрогеля алюминия применялись концентрации его водных растворов в диапазоне 1,7-28 г/л, для тетрабората натрия – *буры* в диапазоне 7-28 г/л.

Полевые испытания проводились в следующем порядке. Каждый экспериментальный участок делился на секторы (п. 2.5 рис. 2.7), которые обрабатывались растворами ОЗС путем опрыскивания ЛГМ вручную, с помощью садового опрыскивателя типа «Жук» [119]. Для упрощения вычислений и удобства в проведении обработки секторов растворами ОЗС, расход растворов составил 1 дм³ на 1 м² обрабатываемой площади. Обработка экспериментальных секторов при фронтальном распространении пламени осуществлялась в случайном порядке для того, чтобы выявить наличие действительного огнезащитного действия и отсесть возможный кумулятивный эффект. В случае же флангового распространения кромки низового пожара, который проводился для подтверждения огнестойкости участков обработанных ОЗС различной концентрации, размещение экспериментальных секторов осуществлялось с ростом концентрации ОЗС по мере удаления от зоны розжига (см. рис. 4.8). В качестве объектов сравнения в каждом экспериментальном участке были выбраны два сектора, один из которых не подвергался никакой обработке, а второй подвергался обработке водой с тем же расходом (1 л/с), причем сектор обработанный водой, подвергался обработке последним, для выявления влияния влаги попавшей на экспериментальный сектор при опрыскивании на процесс распространения кромки низового пожара. Время сушки участков составило – 1 час (из-за возможной смены направления ветра в следующий экспериментальный день). Схема проведения эксперимента представлена на рисунке 4.7. Размеры участков составили 1х1 м, а ширина сектора розжига также составила 1 метр.

Сектор 1 14 г/л	Сектор 2 21 г/л	Сектор 3 28 г/л	Сектор 4 Вода	Сектор 5 (без обработ- ки)	Сектор 6 7 г/л	Сектор 7 1,7 г/л	Сектор 8 3,5 г/л
↑ Сектор розжига ↑							

Рисунок 4.7 - Схема расположения экспериментальных секторов при фронтальном движении низового пожара. Стрелками указано направление движения кромки низового пожара

Результаты исследований представлены на рисунке 4.8.

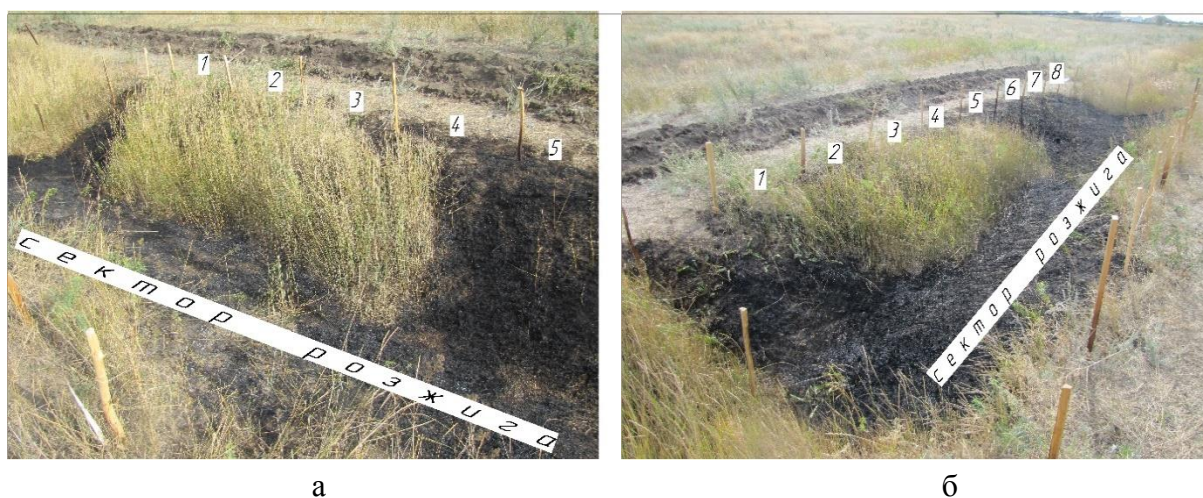


Рисунок 4.8 - Результаты исследования огнезадерживающих свойств экспериментальных секторов обработанных ГА – фото участка справа (а) и фото участка слева (б)

Анализ представленных результатов (рис. 4.8) показал, что после проведения огневого эксперимента Секторы №1-3 обработанных ГА с концентрациями 14, 21 и 28 г/л (с расходом 1 л/м²), соответственно, проявили огнезадерживающие свойства (пламя низового пожара не смогло преодолеть их). Остальные секторы оказались не способными сдержать распространение кромки модельного низового пожара. Осмотр огнеустойчивых секторов показал, что при сложившихся погодных условиях (ветер 4-6 м/с) полосы травяного напочвенного покрова шириной 1 м хвалило для сдерживания распространения кромки низового пожара. Хорошо видно, что огнеустойчивые экспериментальные секторы обгорели только по краям (проникновение пламени в сектор не превышало 0,1 м) и для продолжения своего движения кромка низового пожара

была вынуждена обходить огнеустойчивые секторы справа и слева (рис. 4.8). Выгоревший сектор, располагающийся левее Сектора №1 (рис. 4.8) принадлежал следующему экспериментальному участку, но в данном эксперименте послужил для остановки распространения кромки модельного низового пожара. Причина повышения огнестойкости экспериментальных секторов заключается в их обработке растворами ГА с соответствующими концентрациями, которые оказались способными понизить пожароопасные свойства ЛГМ до такого уровня, что оказалось достаточным для остановки распространения низового пожара. Доказательством этому служит полное выгорание контрольного участка – Сектор №5 (не обработанный). Влияние влажности участков также исключено, т.к. Сектор №4 (обработанный водой – 1 л/м²) также оказался не способен к сдерживанию распространения пламени. К тому же, при прочих равных условиях Сектор №4 был более влажным, т.к. подвергся обработке (опрыскиванию водой) последним из всей серии обработки экспериментальных секторов. Интересно отметить также, что распространение пламени в Секторе №6 (ГА 7 г/л) приобрело явно выраженный беглый характер – выгоранию подвергся только травяной покров, а отмерзшие растительные остатки на поверхности почвы подверглись воздействию пламени лишь частично.

Возможность использования соединения бора – тетрабората натрия - *буры* – для создания огнезащитных барьеров в природных ландшафтах ранее в научно-технической литературе не обсуждался. Поэтому, для удобства сравнения, огнезащитных свойств *буры* и ГА диапазон концентраций водных растворов *буры* был выбран аналогичным, т.е. 14-56 г/л. Время сушки участков, как и в случае обработки ГА, составило один час с момента обработки последнего участка. Последним, как и в предыдущем эксперименте, был обработан водой один из секторов. Результаты исследований огнепреграждающих свойств секторов, обработанных водными растворами *буры* представлены на рисунке 4.9.



Рисунок 4.9 - Результаты исследования огнепреграждающих свойств секторов, обработанных водными растворами *буры* с концентрацией 14-56 г/л (собственные исследования авторов)

Как видно из представленных результатов, экспериментальные секторы, обработанные водными растворами *буры* в диапазоне концентраций 14-56 г/л не обладают достаточным огнепреграждающим действием, т.к. не смогли удержать фронт распространения низового пожара и травяной покров в экспериментальных секторах выгорел. Тем не менее, осмотр секторов после проведения эксперимента (рис. 4.9) местами выявил наличие беглого характера распространения кромки низового пожара, по сравнению с сектором розжига и контрольными секторами. К сожалению, системности в огнестойкости травяного покрова от концентрации ОЗС в данном эксперименте выявить не удалось.

Полученные результаты можно объяснить следующим. Известно, что травянистые растения, в данный период времени, находятся в крайнем состоянии высушенности. При этом поверхность их листовых пластинок и стеблей становятся гидрофобными и в недостаточной степени смачиваются водой и водными растворами. Из-за этого, по-видимому, большая часть водного раствора ОЗС просто проливается на расположенные на поверхности почвы отмершие растительные остатки, т.е. жидкость, под действием силы тяжести, просто стекает с вертикальных поверхностей на горизонтальные. Вполне вероятно, что высокая водорастворимость исследуемых ОЗС не позволяют им в нужном количестве удержаться на листьях и стеблях травянистых растений и, при опрыскивании, ОЗС концентрируется исключительно на растительных остатках, не проявляя огнеостанавливающего действия. Это в первую очередь должно быть характерно

для *буры*, а также для низких концентраций водных растворов ГА. Что и наблюдается в экспериментах. Подобное не раз наблюдалось на практике – многочисленные случаи неэффективного применения воды при тушении лесных пожаров из-за пониженной смачиваемости водой ЛГМ хорошо известны. Для борьбы с этим явлением лесные пожарные применяют в качестве добавок к воде – смачиватели – поверхностно-активные вещества, несколько снижающие расход ОТС [132, 156].

Для подтверждения полученных результатов огнезащитного действия ГА эксперимент с фронтальным распространением пламени был трансформирован во фланговое распространение кромки низового пожара (кромка пожара распространяется вдоль экспериментальных секторов). Расположение экспериментальных участков при фланговом расположении секторов представлено на схеме - рисунок 4.10. Время сушки участка составило 1 час с момента обработки последнего сектора – Сектора №3.

→ Сектор розжига	Сектор №4 (14 г/л)	Сектор №5 (21 г/л)	Сектор №6 (28 г/л)
→	Сектор №1 (1,7 г/л)	Сектор №2 (3,5 г/л)	Сектор №3 (7 г/л)

Рисунок 4.10 - Расположение экспериментальных секторов, обработанных ГА при фланговом распространении низового пожара. Стрелками указано направление распространения пламени



Рисунок 4.11 - Эксперимент с фланговым распространением пламени - вид со стороны сектора розжига



Рисунок - 4.12 Эксперимент с фланговым распространением пламени - вид на секторы с правого фланга

Анализ полученных результатов (рис. 4.11 и 4.12) показывает, что пожарную устойчивость проявили только участки обработанные ГА с концентрацией его водного раствора 21 и 28 г/л (Секторы №5 и 6). Сектор №4 (14 г/л) проявил явные признаки беглого режима распространения пламени. На остальных участках ЛГМ выгорели практически полностью. Следует отметить, что исследования проводились при плотности ЛГМ в $0,8 \div 0,9 \text{ кг/м}^2$.

Выявить пределы огнестойкости был призван следующий эксперимент, для которого были выбраны наиболее огнестойкие секторы (обработанные растворами 21 и 28 г/л), а на сектор розжига была добавлена сухая солома из расчета $250\text{-}300 \text{ г/м}^2$ (таким образом, плотность травостоя увеличилась на 20-25%). Расположение экспериментальных секторов при фланговом распространении пламени представлены на рисунке 4.14 - расположение участков осуществлялось с последовательным увеличением концентрации ГА (21 и 28 г/л), расход водного раствора ГА также составил 1 л/м^2 .



Рисунок - 4.13 Эксперимент с фланговым распространением пламени - вид со стороны сектора розжига



Рисунок - 4.14 Эксперимент с фланговым распространением пламени - вид на секторы с правого фланга

→ Сектор розжига →	Сектор №1 (21 г/л)	Сектор №2 (28 г/л)
--------------------------	-----------------------	-----------------------

Рисунок - 4.15 Расположение экспериментальных секторов, обработанных ГА при фланговом распространении низового пожара. Стрелками указано направление распространения пламени.

Для исключения влияния влажности в этом типе эксперимента сушка участка осуществлялась в течение 12 часов (огневой эксперимент проводился на следующий день). Для усиления горения на участок розжига была добавлена сухая солома в количестве 250-300 г/м². На рисунке 4.14 и 4.15 представлены результаты экспериментального исследования огнезадерживающих свойств секторов, обработанных ГА с различными концентрациями.

Анализ данных, полученных с экспериментального участка показал, что, как и в ходе предыдущего эксперимента (фланговое) с фронтальным распространением пламени, в данном случае Сектор №1 (ГА, 21 г/л) удержал распространение кромки низового пожара даже в случае прироста плотности ЛГМ на 20-25 %. Обработанный травяной покров в Секторе №2 (ГА, 28 г/л) обгорел только по краям из-за продольного движения кромки низового пожара, которое двигалось вдоль экспериментального участка. На рисунке 4.14 хорошо видно, что кромка низового пожара обошла огнестойкие секторы справа и слева. На рисунке 4.15 видно, как кромке низового пожара удалось проникнуть в Сектор №1 на 0,2-0,3 м и погаснуть на нем. Исследование обгоревших участков слева и справа от экспериментальных секторов (не обработанные) показало наличие преимущественно устойчивого горения травяного покрова и растительных остатков (рис. 4.14). Беглый характер горения сектора розжига объясняется присутствием на секторе розжига дополнительного количества сухой соломы, пожар по которой распространяется лучше, чем по напочвенному травостойу.

Возможно, какие-либо другие причины, неконтролируемые в ходе эксперимента заставили пламя обойти обработанные ГА участки, поэтому для дополнительной проверки огнестойкости обработанных ОЗС секторов было проведено их испытание на огнестойкость – имитирующее попадание на сектор источника зажигания. Было сделано три попытки поджога: (1) травяной покров и растительные остатки поджигались с помощью газовой горелки (пропан-бутановая смесь); (2) и (3) с размещением в месте поджога дополнительного пучка сухой соломы массой 150-200 г для усиления горения. Применение газовой

горелки в качестве источника зажигания было необходимо для соблюдения условий естественного распространения природных низовых пожаров, которые проходят без участия горения нефтепродуктов. Результаты поджога представлены на рисунке 4.16-4.17.



Рисунок 4.16 - Процесс поджога травяного покрова на огнестойком секторе – ГА, 28 г/л



Рисунок 4.17 - Результаты поджога травяного покрова на огнестойком секторе – ГА, 28 г/л

Осмотр мест принудительного розжига травяного покрова в огнестойком секторе (рис. 4.17) показал, что принудительный поджог как травяного покрова, так и сухой соломы приводит к их горению. При использовании в качестве источника зажигания газовой паяльной лампы, отмечено, что при прекращении подачи горячей струи на травяной напочвенный покров горение немедленно прекращается. При применении в качестве источника зажигания пучка сухой соломы, травяной покров выгорает только в месте соприкосновения пламени и травы. По мере выгорания соломы самопроизвольное горение в секторе заканчивается и дальнейшее распространение пламени по участку не происходит, несмотря на благоприятные погодные условия и наличие достаточно мощного источника зажигания. Таким образом, в ходе проведенного эксперимента обнаружено еще одно интересное свойство огнезащитной полосы – подавление

горения источника зажигания, попавшего в него. Из-за понижения пожароопасных свойств травяного покрова и растительных остатков источник зажигания, попавший в сектор, выгорая сможет поджечь только тот травяной покров, который непосредственно прилегает к зоне горения, сам же, обработанный огнезащитным составом, травяной покров в процессе самостоятельного горения не участвует и не способствует распространению кромки низового пожара.

Технологические параметры применения гидрогеля алюминия для создания огнезащитной полосы (ручной и механизированный способы опрыскивания). Для того, чтобы разработать технологию обустройства огнезащитной полосы, путем обработки травяного покрова жидким огнезащитным препаратом. Данный жидкий препарат представляет собой водный раствор гидрогеля алюминия, полученного гидролизом сульфата алюминия, при его растворении в воде. Помещать его на поверхность стеблей и листьев травянистых растений можно только путем распыления при ручном или механизированном способе подачи жидкости.

Ручной способ используют там, где затруднено или невозможно применение механизированного способа. Современные опрыскиватели в основном схожи по характеристикам между собой и отличаются способом управления (ручной, ранцевый, моторизированный) и типом устройства (аккумуляторный и помповый). В полевых условиях был использован пневматический опрыскиватель типа «Жук» ОП-209 (6л) [119]. Принцип работы пневматического опрыскивателя ОП – 209 основан на вытеснении рабочей жидкости из бачка давлением сжатого воздуха, создаваемым насосом. Масса опрыскивателя - не более 2,1 кг, расход рабочей жидкости - 0,6-0,8 л/мин., вместимость бака – 6 л., объём заливаемой жидкости не более 5 л, рабочее давление $0,23 \pm 0,03$ Мпа ($2,3 \pm 0,03$ атм.).

Использование пневматического опрыскивателя типа «ЖУК» ОП-209 по сравнению с распылителями установленных на механизированной технике (типа ОПШ -24-3000) производит при распылении более крупные капли, что в свою

очередь уменьшает снос и улучшает проникновение раствора сквозь лесную подстилку, а также уменьшает степень испарения воды путем сниженного рабочего давления и скорости обработки. Так как при низкой влажности и при увеличении температуры и наличии ветра в пожароопасный период увеличивается вероятность сноса мелких капель распыленного состава.

К преимуществам использования ручного способа опрыскивания можно отнести высокую надежность и долгий срок службы оборудования, связанный с отсутствием в конструкции опрыскивателя сложных узлов и механизмов. Еще одним преимуществом является простая дозаправка жидкостью, простота использования и обслуживания, полная энергонезависимость (не нуждается в электричестве или заправке топливом). При наличии преимуществ у ручного способа опрыскивания есть и определенные недостатки:

- малый объем бака (около 5-12 л), что подразумевает обработку небольших площадей, для масштабных участков требуется дозаправка емкостей раствором;
- частое засорение форсунок, из-за чего периодически требуется их прочистка;
- неравномерность нанесения раствора на большие площади, т.к. контроль опрыскивания полностью лежит на операторе, а т.к. применяемые растворы бесцветны - это может создавать проблемы при визуальном контроле качества опрыскивания.

Для определения оптимальных технологических параметров проведения операции опрыскивания существуют естественные ограничения: (1) растворимость препарата для получения гидрогеля в воде - сульфат алюминия – составляет 342 г/л; (2) объем цистерны для хранения рабочего раствора – определяется конструкцией пневматический опрыскивателя типа «Жук» ОП-209 и составляет в среднем $0,005 \text{ м}^3$; (3) расход жидкости 0,6-0,8 л/мин в различных режимах обработки. Как показали полевые испытания оптимальными технологическими показателями является расход ОЗС 21 г/м^2 . При использовании опрыскивателя типа «Жук» ОП-209 зависимость концентрации от расхода раствора на опрыскивание 1 м^2 площади участка представлена в табл. 4.8.

Таблица 4.8 - Технологические параметры для внесения сульфата алюминия при помощи пневматического опрыскивателя типа «Жук» ОП-209

Норма внесения порошка сульфата алюминия в объём жидкости, г/л	Объём жидкости, для растворения нормы порошка сульфата алюминия, л	Площадь, обработанная раствором, м ²	Расход раствора, л/м ²
21	5	5	1
42		10	0,5
63		15	0,25
84		20	0,05
105		25	0,025
126		30	0,0125
147		35	0,0056
168		40	0,0028
189		45	0,0014
210		50	0,0007

Результаты закономерно показывают, что при снижении концентрации раствора ОЗС растёт его расход на единицу площади и наоборот. При применении ручного способа опрыскивания проявляются два его недостатка: (1) при низких концентрациях увеличивается расход рабочего раствора; (2) при высоких концентрациях снижается равномерность опрыскивания территории. Первая проблема обусловлена большим объёмом рабочего раствора наносимого на 1 м² обрабатываемой площади, что увеличивает расход воды и время, затрачиваемое на обработку участка. Вторая проблема обусловлена отсутствием надёжного контроля расхода рабочего раствора на обработку участка, что приведет «пятнистому» распределению огнезащитного состава по площади защищаемого травяного покрова. По-видимому, истина лежит где-то по середине – оптимальным решением является создание рабочего раствора с концентрацией 105 г/л, с расходом 0,2 л/м². В таком случае одной заправки опрыскивателя ОП-209 (5 л) хватит на обработку 25 м².

Ручной способ достаточно трудоёмкий и затратный по времени, однако человек с опрыскивателем (ранцевым огнетушителем) достаточно мобилен и способен осуществлять обработку участков в лесной местности, недоступных для механизированных устройств. В свою очередь механизированное устройство для

опыскивания – штанговый опрыскиватель (ОШ) является более подходящим для обустройства огнезащитной полосы на открытых участках местности и вдоль опушек леса. Такое устройство может быть либо самодвижущимся, либо прицепным. Преимуществом ОШ является работа на большие площади из-за возможности широкого захвата работа полосой до 24-36 м, а также наличием механизированной системы подачи и распыления рабочего раствора. У ОШ существует два типа режимов: (1) опрыскивание пестицидами и (2) внесение растворов органических или минеральных удобрений. Оба режима различаются расходами раствора на 1 м^2 поверхности почвы.

Обстановка с пожарами относится к высокодинамичным, поэтому требует оперативного принятия решений и их исполнений. Критериям скорости выполнения процесса обработки травяного покрова конечно же отвечает применение ОШ. Тем не менее, данное устройство зависит от снабжения его водой, перебои с ее поставкой вызывают простой оборудования и затягиванию сроков проведения работ.

Обеспечение ОШ водой важная операция в технологической цепочке создания огнезащитной полосы. В засушливое время воду необходимо доставлять издалека, что накладывает определенные ограничения на логистику и расходы. Поэтому необходимо найти оптимальные технологические параметры, при которых будут эффективно реализованы временные и финансовые затраты на обустройство огнезащитной полосы.

Для определения оптимальных технологических параметров существуют те же ограничения что и для ручного способа, но с поправкой на другой тип оборудования: (1) растворимость препарата для получения гидрогеля в воде - сульфат алюминия – составляет 342 г/л; (2) объем цистерны для хранения рабочего раствора – определяется конструкцией ОШ и составляет в среднем - 3 м^3 ; (3) ширина захвата ОШ также определяется его конструкцией от 12 до 36 м; (4) расход жидкости на 1 м^2 в различных режимах обработки (обработка пестицидами и жидкими минеральными удобрениями) также определяется конструкцией ОШ - 70-400 л/га); (5) скорость движения ОШ также определяется

его конструкционными особенностями или возможностями тягача (при проведении технологических операций - 6-12 км/ч).

Перечисленные выше параметры закономерно взаимосвязаны между собой: дальность движения ОШ определяется расходом и шириной захвата; расход жидкости на 1 м^2 определяется скоростью движения ОШ по местности; массовый расход препарата определяется концентрацией раствора и т.п. Для поиска оптимальных технологических значений необходимо определить какие технологические операции являются наиболее важными определяющие экономику и технологические возможности.

Экспериментальные исследования показали (см. п. 4.5), что огнезащитные свойства сульфат алюминия проявляет при расходе не менее 21 г/м^2 . Разрабатываемая технология должна обеспечить такой расход путем распыления некоторого объема водного раствора гидрогеля алюминия на единицу площади – 1 м^2 .

Для того чтобы увеличить площадь обработки необходимо уменьшить расход на единицу площади. Штанговый опрыскиватель ОПШ-24-3000, взятый за основу, позволяет обеспечить минимальный расход жидкости - 70 л/га или $7 \text{ см}^3/\text{м}^2$. Такое количество жидкости даже при максимальной растворимости сульфата алюминия в воде (342 г/л) позволит внести только 2,3 г на 1 м^2 , что почти в 10 раз ниже, чем это необходимо. Реализация таких технологических параметров обработки травяного покрова имеет два существенных недостатка: (1) трудно получить качественные растворы в близи пределов растворимости вещества; (2) вызывает сомнение возможность равномерного распределения жидкости в объеме 7 см^3 на площадь 1 м^2 , особенно при учете индекса листовой поверхности 3 ($3 \text{ м}^3/\text{м}^2$) для разнотравья.

Поэтому для получения раствора принято решение снизить концентрацию сульфата алюминия в растворе до 210 г/л, тогда для обеспечения 21 г/м^2 на 1 м^2 необходимо подать 100 см^3 . При таком расходе 3 м^3 (объем цистерны ОШ) хватит на опрыскивание 30000 м^2 или 3 га. Длина пробега ОШ при ширине захвата 24 м длина пробега составит 1250 м. Используя данный алгоритм расчета были

получены результаты связывающие расходы раствора огнезащитного состава с величиной обрабатываемой площади (см. табл. 4.9).

Таблица 4.9. Результаты расчета технологических параметров обработки огнезащитным составом (гидрогелем алюминия) травяного покрова с применением штангового опрыскивателя (ОПШ-24-3000)

Норма, г/м ²	Расход л/м ²	Расход л/га	С, г/л	V _ц , м ³	Площадь, га	Ширина, м	Длина, м	Примечание
21	0,007	70	3000	3	42,9	24	17857	Не возможно (слишком высокая концентрация)
21	0,02	200	1050	3	15,0	24	6250	Не возможно (слишком высокая концентрация)
21	0,05	500	420	3	6,0	24	2500	Не возможно (слишком высокая концентрация, расход за пределами возможности ОШ)
21	0,06	600	350	3	5,0	24	2083	Не возможно (слишком высокая концентрация, расход за пределами возможности ОШ)
21	0,08	800	262,5	3	3,8	24	1563	Возможно (расход за пределами возможности ОШ)
21	0,1	1000	210	3	3,0	24	1250	Возможно (расход за пределами возможности ОШ)
21	0,25	2500	84	3	1,2	24	500	Возможно (расход за пределами возможности ОШ)
21	0,5	5000	42	3	0,6	24	250	Возможно (расход за пределами возможности ОШ)
21	0,75	7500	28	3	0,4	24	167	Возможно (расход за пределами возможности ОШ)
21	1	10000	21	3	0,3	24	125	Возможно (расход за пределами возможности ОШ)

Анализ результатов, представленных в таблице 4.9 показывает, что невозможно подобрать технологические режимы работы ОШ для обустройства

огнезащитной полосы. При низких расходах рабочего раствора (70-600 л/га), отсутствует возможность получения самого раствора, т.к. предполагаемая концентрация раствора в 1,02-8,78 раза превышает максимально возможную растворимость сульфата алюминия в воде. Кроме этого, выбранная конструкция ОШ (ОПШ-24-3000) не позволяет (согласно заявленным техническим требованиям) обеспечивать расход более 400 л/га. В этом случае, необходимо воспользоваться еще одной степенью свободы ОШ – скоростью его движения. Технические характеристики ОШ позволяют двигаться с рабочей скоростью 6-12 км/ч или (1.7-3.7 м/с).

Если сопоставить расход рабочего раствора через насос ОШ – 185 л/мин и при это обеспечить скорость его движения от 6 до 12 км/ч, то появляется дополнительная возможность регулировать расход рабочего раствора на единицу площади поверхности (см. табл. 4.10)

Таблица 4.10. Расчет расхода рабочего раствора (РР) в зависимости от скорости движения ШО (объем цистерны – 3 м³, расход насоса – 185 л/мин, ширина захвата – 24 м)

Скорость, км/ч	Время движения, мин	Длина, м	Площадь, га	Расход РР, л/га	Расход РР, л/м ²	Концентрация РР г/л	Примечание
6	16,2	1622	3,9	770,8	0,077	272,4	Возможно
7	16,2	1892	4,5	660,7	0,066	317,8	Возможно
8	16,2	2162	5,2	578,1	0,058	363,2	Не возможно
9	16,2	2432	5,8	513,9	0,051	408,6	Не возможно
10	16,2	2703	6,5	462,5	0,046	454,1	Не возможно
11	16,2	2973	7,1	420,5	0,042	499,5	Не возможно
12	16,2	3243	7,8	385,4	0,039	544,9	Не возможно

Анализ данных представленных в таблице 4.10 показывает, что при движении на низких скоростях 6-7 км/ч, появляется возможность обработать травяной покров с расходом огнетушащего состава с массой 21 г/м². Более высокая скорость 8-12 км/ч предполагает меньший расход на 1 м² рабочего раствора, что в свою очередь предполагает увеличение концентрации огнетушащего состава. Тем не менее, огнетушащий состав (сульфат алюминия)

имеет ограниченную растворимость в воде – 342 г/л, поэтому растворы большей концентрации приготовить не удастся.

Для создания огнезащитной полосы необходимо использовать следующие технологические параметры: скорость движения ОШ 6-7 кг, расход РР не менее 660 л/га, концентрация рабочего раствора (сульфата алюминия) 310-320 г/л.

Выводы

В п. 4.1. диссертационной работы представлены исследования местности, травяного покрова и запасов ЛГМ доступных для горения. Показано, что плотность травостоя, его влажность влияют на возможность возникновения и развития лесного низового пожара.

В п. 4.2. подобраны оптимальные способы получения гидрогеля и его концентрация в водном растворе, отвечающая минимальному расходу огнетушащего вещества и минимальному количеству реагентов (сульфата алюминия и натриевой соды). Наибольшей огнетушащей способностью и минимальной концентрацией обладает алюмогель, полученный реакцией сульфата алюминия с натриевой содой в количествах 52 г. сульфата алюминия и 48 г. натриевой соды в 15 литрах воды. Использование более высококонцентрированных водных растворов алюмогеля не приводят к существенному уменьшению расхода ОТС, а снижение концентрации алюмогеля приводит к перерасходу ОТС. Лабораторные испытания алюмогеля позволяют снизить расход воды при тушении пожара в 3÷3,5 раза. ОТС будет являться эффективным для тушения лесных и степных пожаров, а также древесины и изделий из нее.

В п. 4.3. обсуждаются типы огнезащитных составов для снижения горючести древесины и волокнистых материалов растительного происхождения. Исследованы огнезащитные свойства соединений алюминия, бора, магния и натрия. Показано, что наилучшими огнезащитными свойствами обладают соединения на основе алюминия и бора, а хлориды магния и натрия неспособны обеспечить нужную степень огнезащитного действия ни для древесных, ни для

волокнистых материалов. Показана аддитивная взаимосвязь концентрации раствора ОЗС, применяемого для обработки исследуемых образцов и кратности процедуры обработки исследуемых образцов ОЗС.

В п. 4.4. представлены результаты оптимального способа получения алюмогеля и его минимально необходимая концентрация в водном растворе, отвечающая минимальному расходу ОС для тушения кромки низового пожара. Наибольшей огнетушащей способностью и минимальной концентрацией обладает ГА с концентрацией в диапазоне 3,5-7 г/л. Использование более высоко концентрированных водных растворов алюмогеля не приводят к существенному уменьшению расхода огнетушащего вещества, а снижение концентрации алюмогеля ниже 3,5 г/л в водном растворе наоборот приводит к перерасходу ОТС. Полевые испытания показывают, что предлагаемое ОТС на основе алюмогеля является эффективным для тушения низовых пожаров. В среднем преимущество применения ГА в удельном расходе перед использованием воды составляет 2-2,5 раза.

В п. 4.5. диссертационной работы изучены огнезащитные свойства соединений алюминия и бора, обработке которыми (опрыскиванием) подверглись и объекты живой природы (травяной покров) и растительные остатки. Показано, что огнезащитное действие применяемых составов позволяет создать новый тип противопожарного барьера – *огнезащитную полосу*, применять которую можно как для профилактических противопожарных мероприятий, так и для обустройства препятствий для ограничения распространения низового пожара. Оказалось, что необходимой противопожарной устойчивостью обладают экспериментальные секторы обработанные алюмогеля с концентрациями 14-28 г/л при расходе 1 л раствора на 1 м². Серьезных огнезащитных свойств ОЗС на основе соединений бора (*буры*) в диапазоне концентраций 14-56 г/л и том же расходе обнаружено не было. Водные растворы алюмогеля с концентрациями 1,7-7 г/л, а также обработка секторов водой с расходом 1 л/м² огнезащитного действия не проявляют, тем не менее, при концентрации алюмогеля 7 г/л, проходящая по сектору кромка низового пожара теряет свою устойчивость и

переходит в беглый режим. Попытки принудительного поджога огнестойчивых секторов оказались неспособны сформировать устойчивое горение, а анализ огнестойких секторов, а также секторов, на которых реализовался беглый режим низового пожара показал, что обработка ЛГМ огнезащитными составами на основе алюмогеля способствует снижению выделяемой при пожаре энергии и защите, тем самым, почвенного покрова от разрушающего его теплового воздействия.

В п. 4.6 представлены и обоснованы параметры технологии применения гидрогеля алюминия для тушения кромки пожара с применением ранцевого огнетушителя и для создания огнезащитной полосы (ручной и механизированный способы опрыскивания).

5 ОЦЕНКА ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОСТРОЕНИЯ ОГНЕЗАЩИТНОЙ ПОЛОСЫ

Лесные пожары – это проблема, которая часто приводит в ужас многих людей, т.к. последствия широкого распространения огня могут быть губительными не только для растительности, сельскохозяйственных культур, но также и для населения. На сегодняшний день общая система противодействия пожарам в лесах позволяет организовывать мероприятия, направленные на защиту лесных массивов от пожаров, защиту населенных пунктов и социально значимых объектов экономики, расположенных вблизи сельхозугодий и лесных массивов.

Любая хозяйственная деятельность эффективна только тогда, когда она позволяет экономить материальные, финансовые и людские ресурсы. Тушение лесных пожаров является такой же хозяйственной деятельностью, как и лесоразведение, сельское хозяйство, строительство и т.п. При тушении лесных пожаров задействуются люди и техника, расходуются вода, химические реагенты, горюче-смазочные материалы, и т.п. [158].

При возникновении пожаров, в первую очередь возгоранию поддается слой ЛГМ располагающийся на поверхности почвы - молодые растения, валеж, кора сухих деревьев и трава. Поэтому очень важно использовать в качестве профилактических мер минерализацию почвенного покрова, которая предотвращает распространение кромки низового пожара в лесах и лесонасаждениях.

Тушение лесных пожаров сопровождается опасностью для личного состава пожарных подразделений. Пожарным приходится работать в тяжелых условиях,

таких как: перемещаться на большие расстояния, которые включают в себя зачастую сложный рельеф местности [93], при этом работая с опасными факторами пожара, которые осложняют процесс тушения лесных пожаров, к ним относятся тепловой поток, повышенная температура окружающей среды, повышенная концентрация токсичных продуктов горения и термического разложения, пониженная концентрация кислорода, снижение видимости в дыму [123]. В пожароопасный период из-за высоких температур воздуха и малого количества осадков, а порой и полного их отсутствия в течение длительного периода времени, пожар стремительно распространяется по иссушенным горючим материалам, увеличивая длину кромки лесного пожара. Для того чтобы потушить лесной пожар лесным пожарным приходится быстро перемещаться по пересеченной местности, перенося на себе воду в ранцевых огнетушителях для тушения пожара. Отдаляясь от источника воды пригодной для тушения. Все эти факторы быстро выматывают пожарных, тем самым снижая их работоспособность и приводят к необходимости увеличения сил и средств для тушения лесных пожаров. Снизив расход воды на тушение появляется возможность кратного снижения физических нагрузок на лесных пожарных при пожаротушении, а также кратного снижения численности пожарной группировки пожарных для тушения кромки низового пожара той же длины.

В особо жаркую погоду крайне тяжело в короткий срок потушить лесной пожар, особенно с большой площадью горения. Поэтому самым эффективным способом борьбы с пожарами является их профилактика [173]. К самым эффективным способам можно отнести создание минерализованных полос именно с ними стоит сравнивать затраты на обустройство огнезащитной полосы. [158].

Для определения экономической эффективности построения минерализованной и огнезащитной полос необходимо рассчитать основные затраты на проведение противопожарных мероприятий для их обустройства.

5.1 Экономическая эффективность построения минерализованной полосы

К затратам на проведение мероприятий по построению минерализованной полосы относятся затраты на оплату труда работников, расходы на ГСМ, техническое обслуживание и амортизацию для агрегата (трактор и плуг), трудозатраты в человеко-днях. В п. 2.9, 2.10 описана методика технико-экономического обоснования построения минерализованной полосы.

Проведенные расчеты показали, что на построение минерализованной полосы потребуется трактор в агрегате с плугом. Минимальная ширина противопожарных защитных полос составляет 1,2 метра. Стоит отметить, что такую же ширину имеет проход плуга ПКЛ-70. Однако более эффективной считается ширина минерализованной полосы, находящаяся в пределах от 2 до 2,5 метров. Поэтому исследования проводились для полосы шириной 2,4 м, т.е. в 2 прохода агрегата. Чтобы обустроить полосу шириной 2,4 м плугом ПКЛ-70 нужно сделать 2 прохода агрегата. Соответственно, объем работ составит:

$$V_p = (175 \cdot 2) + (875 \cdot 2) = 350 + 1750 = 2100 \text{ км}$$

Далее используя формулу 2.4 был произведен расчет срока произведения работ:

$$C_p = \frac{350 \text{ км}}{4,7 \frac{\text{км}}{\text{ч}} \cdot 8\text{ч}} = 9 \text{ дней.}$$

Расчет начали с определения количества рабочих на период выполнения работ (табл. 5.1).

Таблица 5.1 - Определение количества рабочих на период выполнения работ

Наименование работ	Ед. изм.	Трудозатраты, чел./дней	Срок выполнения работ, дни	Необходимое количество рабочих, чел.
Построение минполосы	км	21,0	9	2
Уход за минполосой	км	104,8	47	2

Результаты расчетов показывают, что для построения и ухода за минполосой необходимо выделить 2-х рабочих. Далее была рассчитана стоимость содержания и эксплуатации агрегата (стоимость машиномен, табл. 5.2)

Таблица 5.2 - Расчет стоимости содержания и эксплуатации агрегата

Показатели	Ед. изм.	Трактор ЛХТ-55	Плуг ПКЛ-70
Балансовая стоимость	руб.	1200000,00	78000,00
Нормы:			
на амортизацию	%	26,50	19,2
на ТО и ремонт	%	16,00	14,0
Годовая загрузка	дни	150	60
Срок выполнения работ	дни	56	56
Отчисления			
на амортизацию	руб.	318000,00	149760,00
на ТО и ремонт	руб.	192000,00	10920,00
Стоимость			
на амортизацию	руб.	89040,00	9856,00
на ТО и ремонт	руб.	53760,00	7186,67
ГСМ	руб.	318990,00	-
Прочие расходы	руб.	3500,00	28,33
Итого стоимость машиномен (Смс)	руб.	465290,00	17071,00

Расчет показал, что для содержания и эксплуатации Трактора ЛХТ-55 и Плуга ПКЛ-70 итоговая стоимость составляет 465290,00 и 17071,00 рублей соответственно.

Для определения рабочего времени одного рабочего в год был рассчитан дополнительный фонд оплаты труда в процентах, используя формулу 2.6:

$$Д = \frac{28}{211} \cdot 100\% = 13,3\%$$

Чтобы определить полезный фонд рабочего времени и процент дополнительной оплаты труда, потребовалось рассчитать баланс рабочего времени одного рабочего за год (табл. 5.3).

Таблица 5.3 - Баланс рабочего времени одного рабочего в год

№ п/п	Показатели	Абсолютные дни
1.	Календарное количество дней	365
2.	Количество нерабочих дней, простоев и неявок на работу всего	154
	В том числе:	
	Выходные и праздничные дни	114
	Очередные и дополнительные отпуска	28
	Выполнение государственных и общественных обязанностей, прочие неявки, разрешенные законом	0.5
	Неявки по болезням	8
	Неявки по разрешению администрации	1,5
	Целосменные простои	2
3.	Число эффективных рабочих дней в году на 1 рабочего	211
4.	Средняя продолжительность рабочего дня, час	8
5.	Полезный фонд рабочего времени, час	1688
6.	Дополнительный фонд оплаты труда, %	13,3

Итогом расчета явилось, что полезный фонд рабочего времени одного рабочего составил 1688 часов или 211 дней.

Далее был произведен расчет трудовых и денежных затрат на мероприятия, выполняемые механизированным способом используя формулы 2.7 и 2.8. Для расчета месячной тарифной ставки использовалась средняя заработная плата работников сельского и лесного хозяйства, рыбоводства и рыболовства по Саратовской области по данным Росстата. В 2018 году она составила - 16122 руб. по данным Росстата. В 2018 году она составила - 16122 руб. [153].

$$TC_{\text{мес}} = 16122 \text{ руб.} \cdot 1,44 \cdot 1,8 = 41788,22 \text{ руб.}$$

Дневная тарифная ставка (при шестидневной рабочей неделе в среднем 25,2 дня) составит:

$$TC_{\text{дн}} = \frac{41788,22}{25,2} = 1658,26 \text{ руб.}$$

Из таблицы 5.4 видно, что при построении минполос с объемом работ 350 км дневная тарифная ставка будет составлять 1658,26 руб. Кроме прямых затрат на построение минполосы необходимо учитывать затраты на уход за минполосой, что также отражено в данной таблице и составило 1658,26 руб.

Для полноты оценки экономической эффективности, необходимо учесть данные по расчету фонда оплаты труда рабочих на лесохозяйственных и лесовосстановительных работах, нормы расхода топлива на устройство и уход за минерализованной полосой (табл. 5.5 и 5.6).

Результаты, представленные в таблице 5.5 свидетельствуют, что технологическая себестоимость обустройства минполосы составляет 76937,21 руб., а уход за ней составляет 383953,31 руб. за 1 год.

Расчет норм расхода топлива на обустройство минполосы и уход за ней составил 318990,00 руб. за 1 год.

Также при расчете экономической эффективности необходимо учесть общие затраты на построение и уход 1км минерализованной полосы, который составил 229,16 руб. в год (табл. 5.7).

Таблица 5.4 - Расчет трудовых и денежных затрат на мероприятия, выполняемые механизированным способом

Наименование работ	Объем работ, км	Состав агрегата		Нормы выработки, км	Трудозатраты, чел./дней	Количество рабочих, чел.	Срок выполнения работ, дней	Дневная тарифная ставка, руб.
		трактор	машина					
Построение минполосы	350	ЛХТ-55	ПКЛ-70	16,7	21,0	2	9	1658,26
Уход за минполосой	1750	ЛХТ-55	ПКЛ-70	16,7	104,8	2	47	1658,26

Таблица 5.5 - Расчет фонда оплаты труда рабочих на лесохозяйственных и лесовосстановительных работах

Наименование работ	Тарифный ФОТ, руб.	Доплаты, премии, надбавки ($\approx 50\%$ ФОТ), руб.	Итого основной ФОТ, руб.	Дополнительный ФОТ (13,3%), руб.	Общий ФОТ, руб.	Начисления на з/п ЕСН, 30%	Технологическая себестоимость (Ст), руб.
Устройство минполос	34823,46	17411,73	52235,19	6947,28	59182,47	17754,74	76937,21
Уход за минполосами	173785,64	86892,82	260678,46	34670,24	295348,70	88604,61	383953,31

Таблица 5.6 - Нормы расхода топлива на устройство и уход за минерализованной полосой

Наименование работ	Марка трактора	Марка орудия	Срок выполнения работ, дней	Объем работ, км	Нормы расхода топлива прохода агрегата на площадях без пней, л/км	Расход топлива, л/км	Цена топлива, руб./л	Стоимость ГСМ, руб.
Построение и уход за минполосой	ЛХТ-55	ПКЛ-70	56	2100	3,1	6510,00	49,00	318990,00

Таблица 5.7 - Общие затраты на построение и уход 1 км минерализованной полосы

Наименование работ	Объем работ, км	Общие затраты по технологической себестоимости, руб.	Общехозяйственные и общепроизводственные расходы, руб.	Полная себестоимость, руб.	Итого затрат на 1 км, руб.
Построение и уход за минполосой	1750	383953,31	17071,00	401024,31	229,16

5.2. Экономическая оценка эффективности построения огнезащитной полосы

Несмотря на множество положительных особенностей противопожарного обустройства лесов, которые проявляются при использовании в качестве противопожарных барьеров минерализованных полос, у них есть ряд недостатков. Подготовленные плугами, такие полосы труднопроходимы для обычного транспорта, поэтому их надо создавать лишь в местах, не затрудняющих проезда, к тому же это делает лес неблагоустроенным и крайне неприглядным.

Поэтому, предлагается в качестве противопожарных барьеров строить огнезащитные полосы.

Огнезащитная полоса - это полоса, содержащая естественную или искусственную растительность, обладающую пониженной горючестью достигнутой путем ее обработки специальными огнезащитными средствами. Создается она в целях борьбы с природными пожарами - для ограничения распространения, создания искусственных «ловушек» для облегчения тушения лесных пожаров. Может применяться, в случае невозможности построения минерализованной полосы вокруг пожароопасных объектов.

Построение огнезащитной полосы также требует определенных затрат. К ним относятся закупка химических реагентов (хлорид магния), закупка (аренда) штангового опрыскивателя (ОПШ-3000), трудозатраты в человеко-днях, оплата труда работников, стоимость ГСМ, техническое обслуживание и амортизационные отчисления для агрегата. В нашем случае в расчетах использовались затраты на эксплуатацию поливомоечной машины на базе ЗИЛ-130, чтобы осуществлять подвоз воды для приготовления раствора антипирена (табл. 5.8).

Таблица 5.8 - Расчет стоимости содержания и эксплуатации агрегата

Показатели	Ед. изм.	Трактор МТЗ-82	Опрыскиватель ОПШ-3000	Поливомоечная машина на базе ЗИЛ-130
Балансовая стоимость	руб.	1400000,00	800000,00	320000,00
Нормы:				
на амортизацию	%	9,1	5,2	14,0
на ТО и ремонт	%	9,9	5,0	9,2
Годовая загрузка	дни	150	45	155
Объем работ	дни	3	3	3
Отчисления				
на амортизацию	руб.	127400,00	41600,00	44800,00
на ТО и ремонт	руб.	138600,00	40000,00	29440,00
Стоимость				
на амортизацию	руб.	1191,50	3547,71	582,58
на ТО и ремонт	руб.	643,5	3411,26	382,84
ГСМ	руб.	24867,50	-	9561,3
Итого стоимость содержания агрегата	руб.	26702,50	6958,97	10526,72

Итоговая стоимость содержания установки для опрыскивания составила 44188,19 руб. в год.

Определение итоговой стоимости расходов топлива на обработку огнезащитной полосы отражены в таблице 5.9 и составили 34428,80 руб. в год.

Таблица 5.9 - Нормы расхода топлива на обработку огнезащитной полосы [86]

Наименование работ	Марка трактора/Автомобиля	Марка орудия	Нормы расхода топлива, л/км	Цена ГСМ, руб./л	Объем работ, км	Итоговая стоимость ГСМ, руб.
Обработка огнезащитной полосы раствором антипирена	МТЗ-82	ОПШ-3000	2,9	49,00	175	24867,50
Подвоз воды	ЗИЛ-130	КО-713	1,16	47,10	175	9561,30

При экономическом обосновании необходимо учитывать баланс рабочего времени одного рабочего в год (табл. 5.10).

Таблица 5.10 - Баланс рабочего времени одного рабочего в год

№ п/п	Показатели	Абсолютные дни
1.	Календарное количество дней	365
2.	Количество нерабочих дней, простоев и неявок на работу всего	148
	В том числе:	
	Выходные и праздничные дни	114
	Очередные и дополнительные отпуска	28
	Выполнение государственных и общественных обязанностей, прочие неявки, разрешенные законом	0,5
	Неявки по болезням	3
	Неявки по разрешению администрации	1,5
	Целосменные простои	1
3.	Число эффективных рабочих дней в году на 1 рабочего	217
4.	Средняя продолжительность рабочего дня, час	8
5.	Полезный фонд рабочего времени, час	1736
6.	Дополнительный фонд оплаты труда, %	12,5

Результаты расчетов показали, что число рабочих дней в год на одного рабочего составило 217, а полезный фонд рабочего времени 1736 час.

Для расчета дневной тарифной ставки были произведены расчеты трудовых и денежных затрат на мероприятия, выполняемых механизированным способом (таблица 5.11). Результаты показали, что дневная тарифная ставка на построение огнезащитной полосы опрыскиванием напочвенного покрова раствором огнезащитного состава и подвоз воды для приготовления раствора на все виды работ составили 3316,52 руб.

Для расчета технологической себестоимости проведены расчеты фонда оплаты труда рабочих на лесохозяйственных и лесовосстановительных работах (табл. 5.12). Расходы оплаты труда рабочих на лесохозяйственных и лесовосстановительных работах на период построения огнезащитной полосы составляют 25100,89 и 32012,71 руб. соответственно.

Таблица 5.11 - Расчет трудовых и денежных затрат на мероприятия, выполняемые механизированным способом

Наименование работ	Объем работ, км	Состав агрегата		Нормы выработки, км	Трудозатраты, чел./дней	Кол-во рабочих, чел.	Срок выполнения работ, дней	Дневная тарифная ставка, руб.
		трактор	машина					
Обработка огнезащитной полосы раствором антипирена	175	МТЗ-82	ОПШ-3000	25,5	6,9	2	3	1658,26
Подвоз воды	175	ЗИЛ-130	КО-713	20,0	8,8	3	3	1658,26

Таблица 5.12 - Расчет фонда оплаты труда рабочих на лесохозяйственных и лесовосстановительных работах

Наименование работ	Тарифный фонд оплаты труда, руб.	Доплаты, премии, надбавки ($\approx 50\%$ ФОТ), руб.	Итого основной ФОТ, руб.	Дополнительный ФОТ (12,5%), руб.	Общий фонд оплаты труда, руб.	Начисления на з/п ЕСН, 30%	Технологическая себестоимость, руб.
Обработка огнезащитной полосы раствором антипирена	11442,00	5721,00	17163,00	2145,38	19308,38	5792,51	25100,89
Подвоз воды	14592,69	7296,34	21889,03	2736,13	24625,16	7387,55	32012,71

Также было рассчитано необходимое количество рабочих (табл. 5.13) и составило 5 человек.

Таблица 5.13 - Определение количества рабочих на период выполнения работ

Наименование работ	Ед. изм.	Трудозатраты, чел./дней	Срок выполнения работ, дни	Необходимое кол-во рабочих, чел.
Обработка огнезащитной полосы раствором ОЗС	км	6,9	3	2
Подвоз воды	км	8,8	3	3

Для ОЗС хлорида магния рассчитали его расход, учитывая количество воды, необходимое для его приготовления (табл. 5.14). Итоговая стоимость составила 398,16 руб.

Таблица 5.14 - Расход сухого вещества и воды для приготовления раствора ОЗС

ОЗС	Кол-во, кг	Цена, руб./кг	Стоимость, руб.	Кол-во воды, м ³	Цена, руб./м ³	Стоимость, руб.	Итого, руб.
Сульфат алюминия	10	27,00	270,00	6	21,91	131,46	401,46

В конце был произведен расчет итоговых затрат при обработке раствором ОЗС для 1 км огнезащитной полосы (табл. 5.15).

Анализ данных представленных в таблице 5.15 показывает, что затраты на построение огнезащитной полосы складываются из двух составляющих: обработка горючих материалов растительного происхождения раствором антипирена и подвоза воды, необходимой для приготовления раствора. Суммарно на построение огнезащитной полосы длиной 1 км составляет 498,59 рублей.

Таблица 5.15 - Общие затраты на обработку раствором антипирена 1 км огнезащитной полосы

Наименование объема работ	Объем работ, км	Общие затраты по технологической себестоимости, руб.	Общехозяйственные и щепроизводственные расходы, руб.	полная себестоимость, руб.	Итого затрат на 1 км, руб.
Обработка огнезащитной полосы раствором ОС	175	25100,89	21879,63	46980,52	268,46
Подвоз воды	175	32012,71	8354,62	40367,33	230,67
				Итого:	498,59

Сравнивая затраты на построение минерализованной полосы с затратами на построение огнезащитной полосы определено, что минерализованная полоса дешевле огнезащитной в 1,3 раза. Это свидетельствует против экономической выгоды построения огнезащитной полосы над минерализованной, как средства защиты от пожаров. Тем не менее дешевизна минерализованной полосы только кажущаяся, так как расчет затрат на минерализованную полосу производился на ее ширину 2,4 м, в то время как ширину огнезащитной полосы мы закладывали 12 м.

Минерализованная полоса шириной 2,4 м защищает от переброски пламени через нее в чуть более чем в 50% случаев, в то время как 12 м огнезащитной полосы обладают огнезащитными свойствами в 99% случаев. При оценке затрат на 1 м² затраты на обустройство минерализованной и огнезащитной полосы составили 0,09 и 0,02 рубля соответственно, что подтверждает экономическую эффективность выбора обустройства противопожарного барьера в пользу огнезащитной полосы.

Выводы

В п. 5.1. диссертационной работы вычислены и проанализированы затраты на создание минерализованной полосы. Показано, что с учетом всех затрат (амортизация оборудования, топливо, заработная плата и т.п.) для построения минерализованной полосы шириной 2,4 м составляет 229,16 руб./км.

В п. 5.2. диссертационной работы вычислены и проанализированы затраты на создание минерализованной полосы. Показано, что с учетом всех затрат (амортизация оборудования, топливо, стоимость химических компонентов и воды, подвоз воды, заработная плата и т.п.) для построения огнезащитной полосы шириной 12 м составляет 268,16 руб./км.

Таким образом, с учетом всех затрат 1 м² минерализованной полосы будет стоить 0,09 рубля, а 1 м² огнезащитной полосы 0,02 рубля, тем самым прокладка огнезащитной полосы экономически выгоднее в 4,5 раза, чем прокладка минерализованной полосы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проанализирована растительность района исследования, найдена взаимосвязь лесных пожаров с погодными условиями. Проведен анализ последствий лесных пожаров и их дальнейшее влияние на природу, и хозяйственную деятельность человека. Наилучшая взаимосвязь, проявилась между числом пожаров и средней относительной влажностью воздуха, между числом пожаров и суммой осадков.

2. Разработана технология тушения лесных низовых пожаров с применением гидрогеля алюминия, на основании лабораторных и полевых испытаний его огнетушащего действия. Получены экспериментальные значения расходов ОТС (на единицу площади, единицу длины кромки низового пожара) на основе гидрогеля алюминия и их значения сравнены с расходами на тушение воды. Показано, что гидрогель алюминия (с концентрацией 3,5 г/л) расходуется в 2-3 раза меньше по сравнению с водой при тех же условиях. Применение соединения алюминия позволяет на 57% повысить огнетушащую способность ОТС по сравнению с водой и с добавками других химических веществ на основе бора, натрия и магния.

3. Разработана технология обустройства и технические параметры противопожарных барьеров – огнезащитных полос – участков местности, покрытых ЛГМ, обработанных ОЗС. Наиболее эффективным ОЗС, по результатам лабораторных и полевых исследований явился гидрогель алюминия, который при концентрации выше 21 г/л (и расходе 1 л/м²) обладает огнезадерживающими свойствами и способен при ширине в 1 м удержать распространение кромки лесного низового пожара.

Определены технологические параметры применения гидрогеля алюминия:

а) для тушения кромки пожара с применением ранцевого огнетушителя типа РП-18 («Ермак», Россия): создание рабочего раствора (РР) с концентрацией 630 г/15 л, с расходом 0,0125 л/м².

б) для создания огнезащитной полосы (ручной и механизированный способы опрыскивания):

- ручной способ (при применении пневматического опрыскивателя типа «Жук» ОП-209): создание рабочего раствора с концентрацией 105 г/л, с расходом 0,2 л/м².

- механизированный способ (с применением штангового опрыскивателя (ОПШ-24-3000): скорость движения ОШ 6-7 км/ч, расход РР не менее 660 л/га, концентрация рабочего раствора (сульфата алюминия) 310-320 г/л. 4. На основании оценки дальности переноса горящих частиц ветром определены требования к противопожарному барьеру (ширина и степень огнестойкости). Показано, что при падении с высоты 20 метров горящей частицы размером 5 мм при силе ветра 5 м/с ширина полосы должна составить не менее 36 м. Полоса шириной 4,2 м преодолима при падении с высоты 5 м фрагмента ЛГМ размером 7 мм при скорости ветра 5 м/с. Степень огнестойкости ЛГМ, обработанных ОЗС должна составить не менее 20 мин.

4. На основании оценки дальности переноса горящих частиц ветром определены требования к противопожарному барьеру (ширина и степень огнестойкости). Показано, что при падении с высоты 20 метров горящей частицы размером 5 мм при силе ветра 5 м/с ширина полосы должна составить не менее 36 м. Полоса шириной 4,2 м преодолима при падении с высоты 5 м фрагмента ЛГМ размером 7 мм при скорости ветра 5 м/с. Степень огнестойкости ЛГМ, обработанных ОЗС должна составить не менее 20 мин.

5. Проведена оценка экономической эффективности обустройства огнезащитной полосы в сравнении с минерализованной полосой. Показано, что расходы на обустройство огнезащитной полосы в 4,5 раза ниже, чем для обустройства минерализованной полосы.

РЕКОМЕНДАЦИИ К ПРОИЗВОДСТВУ

1. Для обеспечения эффективности мероприятий по предупреждению возникновения лесных низовых пожаров необходимо не только определять степень пожарной опасности лесных массивов по условиям погоды, но и учитывать характер деятельности человека в лесных массивах и на сельскохозяйственных угодьях (посевная, сбор урожая озимых и яровых, сенокос и т.п.), а также и рекреационную функцию лесного массива, связанную с отдыхом людей на объектах в праздничные дни (1-10 мая), а также во время летних и осенних отпусков.

2. Для эффективного тушения лесных низовых пожаров необходимо использовать гидрогель алюминия, получаемый растворением в воде сульфата алюминия, в количестве 52 г на 15 литров воды. Полученную смесь тщательно перемешать и применить для тушения кромки лесного низового пожара в течение 15-20 минут, это позволит снизить расход ОТС в 2-2,5 раза по сравнению с расходом воды.

3. Для ограничения распространения пламени лесного низового пожара необходимо создавать огнезащитные полосы – участки местности покрытые травянистой растительностью, обработанные водным раствором гидрогеля алюминия в количестве 21 г/л, при расходе в 1 л/м². Это позволяет установить фронт распространения лесного низового пожара, распространяющийся по сухому травостою плотностью 1-1,3 кг/м². При этом достаточная ширина огнезащитной полосы составляет 1 м.

4. Снижению расходов на профилактические мероприятия по ограничению распространения лесного низового пожара будет способствовать обустройство огнезащитной полосы, которая при сравнимой площади на 1 м² экономически выгоднее в 4,5 раза обустройства минерализованной полосы.

Перспективы дальнейшей разработки предлагаемого направления исследований заключаются в:

1) дальнейшем исследовании огнетушащего и огнезащитного действия гидрогелей на основе других химических элементов – магния, железа и кальция;

2) исследовании механизма огнетушащего и огнезащитного действия гидрогелей для разработки приемов наиболее оптимального их применения при тушении лесных пожаров, а также пожаров на лесоперерабатывающих и деревообрабатывающих предприятиях;

3) совершенствовании подачи водных растворов гидрогелей в зону горения ручным или механизированным способом, а также совершенствовании состава водных растворов гидрогелей с целью повышения их смачивающих свойств и, тем самым, повышения огнестойкости ЛГМ;

4) разработке методологии создания огнезащитных полос и установление взаимосвязи их месторасположения, ширины и степени огнестойкости с характером местности и погодными условиями.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Абдурагимов И.М. О механизмах огнетушащего действия средств пожаротушения // Пожаровзрывобезопасность, 2012. - №2. – С. 59-64
2. Абдурагимов И.М. Проблема тушения крупных лесных пожаров и крупномасштабных пожаров твердых горючих материалов в зданиях // Пожаровзрывобезопасность, 2012. - №2. – С. 69-74
3. Абдурагимов И.М. Проблема тушения лесных и торфяных пожаров (тепловая теория тушения пожаров твердых горючих материалов на открытых пространствах и внутри зданий и сооружений) // Пожаровзрывобезопасность, 2012. - №10. – С. 66-76
4. Авторское свидетельство 1659014 СССР, МКИ А62С5 / 033; 39/00. Способ тушения пожара / В.К. Костенко, К.М. Деменкова, И.А. Шамардина (СССР). - №4632400/12; заявл. 02.12.88; опубл. 30.06.91, Бюл. №24. – 3 с. - прототип
5. Агеев А.К., Иванкин А.Н., Горбачева Г.А., Санаев В.Г., Беляков В.А. радиоэкология зараженных лесных ареалов республики Беларусь через тридцать лет после Чернобыля // Лесной вестник, 2019.- № 1.- С. 14-21
6. Алексеев Ю. Е., Вехов В. Н., Гапочка Г. П. Травянистые растения СССР, Издательство: Москва, “Мысль”, 1971. – 487 с.
7. Анализ происшествий, аварий и чрезвычайных ситуаций на территории Саратовской области в 2016г. – 74 с.
8. 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
9. Андреев Ю.А., Андреев А.Ю., Михайлов П.В., Паутяк В.Г., Коморовский В.С. Оценка запаса лесных горючих материалов при государственной инвентаризации лесов // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2015, №1, С. 39-46

10. Антонов А.В., Петрушева Н.А., Алашкевич Ю.Д. Получение огнезащищенных древесноволокнистых плит // Лесной журнал, 2012.- №4.- С. 99-103
11. Арефьев С.П., Казанцева М.Н. Периодичность пожаров и естественное возобновление светлохвойных лесов и редколесий в Надымском районе Ямало-Ненецкого автономного округа // Сибирский лесной журнал, 2020.- №1.- С. 3-15
12. Арефьев С.П., Казанцева М.Н. Периодичность пожаров и естественное возобновление светлохвойных лесов и редколесий в Надымском районе Ямало-Ненецкого автономного округа // Сибирский лесной журнал, 2020.- №2.- С. 3-15
13. Арцыбашев Е.С. Влияние пожаров на лесные биогеоценозы // Биосфера, 2014.- №1.- С. 53-59
14. Арцыбашев Е.С. Планирование, организация и техника борьбы с лесными пожарами // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2014.- №3.- С. 56-62
15. Арцыбашев Е.С. Применение экрана из огнестойкой бумаги для остановки и локализации лесных низовых пожаров // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2015.- №1.- С. 47-55
16. Арцыбашев Е.С. Роль беглых низовых пожаров в повышении пожароустойчивости насаждений хвойных пород // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2018.- №1.- С. 4-15
17. Белоусова Е.П., Латышева И.В., Латышев С.В., Лощенко К.А., Щерблякин А.С. Природные факторы возникновения лесных пожаров на территории Иркутской области // Биосфера, 2016.- №4.- С. 390-400
18. Березовский А.И., Иванилова Т.Н., Терентьева Н.А. Вероятностно-множественное моделирование распространения лесных пожаров по территории с жилыми массивами // Хвойные бореальной зоны, 2012.- №3-4.- С. 333-337

19. Берестенькова М.В., Доррер Г.А., Коморовский В.С. Моделирование взаимодействия природных пожаров и объектов защиты // Хвойные бореальной зоны, 2012.- №5-6.- С. 103-106
20. Бобков, С.А. Физико-химические основы развития и тушения пожаров [Текст] / С.А. Бобков, А.В. Бабурин, П.В. Комраков. - М.: Академия ГПС МЧС России, 2014.- 210 с.
21. Богородская А.В., Иванова Г.А. Микробиологический мониторинг состояния почв после пожаров в сосново-лиственничных насаждениях Нижнего Приангарья // Хвойные бореальной зоны, 2011.- №12.- С. 98-106
22. Богородская А.В., Кукавская Е.А., Каленская О.П., Буряк Л.В. Микробиологическая оценка состояния почв хвойных лесов средней Сибири после пожаров разной интенсивности // Лесохозяйственная информация, 2019.- №2,- С. 138-156
23. Болтнева Л.И., Быстрова В.И. Региональные особенности лесных пожаров в России и возможные экологические последствия // Использование и охрана природных ресурсов, 2012.- №3.- С. 25-30
24. Бондаренко Ю.В., Афонин В.В., Афолина Ю.Н. Эколого-гидрологическая оценка регулирования местного стока в Саратовской области; Издательский центр "Наука"- Саратов, 2007. -160с.
25. Брюханов А.В., Коршунов Н.А. Авиационное тушение природных пожаров: история, современное состояние, проблемы и перспективы // Сибирский лесной журнал, 2017.- №5.- С. 37-54
26. Буряк Л.В., Зарубин Д.С., Кукавская Е.А., Каленская О.П., Иванов В.А., Толмачев А.В. Влияние пожаров на возобновление хвойных насаждений заповедника Центральносибирский // Хвойные бореальной зоны, 2015.- №3-4.- С. 122-127
27. Валендик Э.Н., Кисилыхов Е.К., Пономарев Е.И., Косов И.В., Лобанов А.И., Дугаржав Ч. Природа степных пожаров в Сибири и Монголии // Сибирский лесной журнал, 2018.- №4.- С. 3-12

28. Валендик Э.Н., Киселяхов Е.К., Рыжкова В.А., Пономарев Е.И., Голдаммер Й.Г. Лесные пожары в средней Сибири при аномальных погодных условиях // Сибирский лесной журнал, 2014.- №3,- С. 43-52
29. Варес, В. Справочник потребителя биотоплива [Текст] / В. Варес, Ю. Касък, П. Муйсте, Т. Пиху, С. Соосаар // под ред. В. Вареса. – Таллинн: Таллиннский технический университет, 2005.- 183 с.
30. Возникновение и распространение степных пожаров. - Энциклопедия безопасности «Против пожара». – Электронный ресурс [https://protivpozhar.com/tipologija/prirodnye/stepnye-pozhary] Дата обращения – 07 мая 2018.
31. Волков Г.А., Баканов С.С., Козаченко М.А. Параметры роста и развития живого напочвенного покрова, подроста и подлеска в лесах Базарно-Карабулакского лесничества Саратовской области // Научная жизнь, 2018.- №5.- С. 107-115
32. Волкова Л.С. Экологический фактор рекреационной деятельности на побережьях Волгоградского водохранилища, 2014. – 49-59 с.
33. Волокитина А.В., Софронов М.А., Софронова Т.М. Прогноз поведения низовых пожаров на основе карт растительных горючих материалов: учебное пособие.- Красноярск : Институт леса Со РАН, СибГТУ, 2005. – 92 с.
34. Волокитина А.В., Софронова Т.М., Корец М.А. Региональные шкалы оценки пожарной опасности в лесу: усовершенствованная методика составления // Сибирский лесной журнал, 2017.- №2.- С. 52-61
35. Волокитина А.В., Софронова Т.М. Оптимизация затрат при тушении лесных пожаров // Лесохозяйственная информация, 2018.- №2.- С. 54-64
36. Волчатова И.В. Пожары растительности как фактор снижения объема экосистемных услуг лесов особо охраняемых природных территорий // Лесной журнал, 2019.- №6,- С. 79-91.
37. Вопросы лесной пирологии: сборник статей [Текст].- Красноярск: 1970.- 558 с.

38. Выгодский М.Я. Справочник по элементарной математике [текст] / М.Я. Выгодский - М. : Гостехиздат, 1954. - 412 с.
39. Гааг С.В. Моделирование перемещения грунтомета при тушении лесных пожаров // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии имени С.М. Кирова, 2018.- №223.- С. 201–212
40. Герасимов А.О., Чугунова М.В. Воздействие противогололедных средств на основе хлоридов магния на высшие растения и почвенные микроорганизмы // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии имени С.М. Кирова, 2016.- №217.- С. 16-31
41. Главацкий Г.Д., Груманс В.М. Информационная модель и задачи оптимизации процесса борьбы с лесными пожарами // Лесной журнал, 2002.- №1.- С. 31-37
42. Главацкий Г.Д., Груманс В.М. Особенности организации тушения крупных лесных пожаров в многолесных районах Сибири // Лесной вестник, 2001.- №1.- С. 45-55
43. Главацкий Г.Д., Груманс В.М. Проблема оптимизации и экономической эффективности лесопожарных мероприятий при тушении крупных лесных пожаров // Лесной вестник, 2001.- №1.- С. 33-45
44. Главацкий Г.Д. Обоснование критериев оценки уровня охраны лесов от пожаров // // Лесной вестник, 2000.- №3.- С. 87-101
45. Гниненко Ю.И., Калнин В.В., Кучук В.А., Марадудин И.И., Мартынюк А.А., Радин А.И., Раздайводин А.Н. Новый подход к лесопатологическим исследованиям в зонах радиоактивного загрязнения // Успехи современного естествознания, 2019.- №5,- С. 7-12
46. Голдаммер Й.Г., Ерицов А.М., Кисилыхов Е.К. Необходимость разработки практических и научно обоснованных решений для лесного хозяйства и пожароуправления в Российской Федерации // Сибирский лесной журнал, 2017.- №5.- С. 114-124

47. ГОСТ 31251-2008 Конструкции строительные. Методы определения пожарной опасности. Стены наружные с внешней стороны.- М.: Государственный стандарт Российской Федерации, 2008. – 28 с.
48. ГОСТ Р 22.1.09-99 Мониторинг и прогнозирование лесных пожаров. - М.: Государственный стандарт Российской Федерации, 2000.- 8 с.
49. ГОСТ Р 57972-2017 Объекты противопожарного обустройства лесов/ - М.: Государственный стандарт Российской Федерации, 2017. – 12 с.
50. ГОСТ Р 53280.4-2009. Установки пожаротушения автоматические. Огнетушащие вещества. Часть 4. Порошки огнетушащие общего назначения. Общие технические требования и методы испытаний — Введ. 2009-01-01 / М.: Изд-во стандартов, 2008.— 27 с.
51. Грабовский В.И., Замолотчиков Д.Г. Модели оценки запасов валежа по данным учетов на трансектах // Лесоведение, 2012. - №2.- С. 66-73
52. Громазин О.А., Пархачёв В.В., Филимонов А.В., Чириков А.М., Шишалов И.С. Оптимальное размещение видеосенсоров для повышения эффективности автоматизированного обнаружения лесных пожаров на ранней стадии // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2014.- №3.- С. 62-72
53. Громцев А.Н., Карпин В.А. Пожарная уязвимость лесов в различных типах географических ландшафтов на северо-западе европейской части таежной зоны России // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2017.- №2 - С. 21-29
54. Гусев В.Г., Ерицов А.М., Куприн Г.Н., Куприн Д.С., Степанов В.Н. Результаты экспериментальных исследований параметров противопожарных заградительных полос при свободном сливе огнетушащей жидкости с вертолёта // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2016.- №2.- С. 60-74
55. Гусев В.Г., Ерицов А.М., Степанов В.Н., Фомин Г.Е. Результаты исследовательских испытаний и апробации новой технологии борьбы с низовыми

пожарами // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2015.- №2.- С. 71-83

56. Гусев В.Г., Куприн Г.Н., Куприн Д.С. Сравнительные испытания огнетушащей способности и защитного действия антипирена ОС - 5 и огнестойкой быстротвердеющей пены // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2017.- №4.- С. 56-63

57. Гуцев Н.Д., Гаравин В.Ю., Михайлова Н.В., Гаравина Ю.В. Разработка универсального огнетушащего состава со смачивающими, пенообразующими и антипиренными свойствами // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2015.- №4.- С. 64-78

58. Гуцев Н.Д., Михайлова Н.В., Грабежева Н.А. Исследование зависимости времени смачивания лесных горючих материалов от величины поверхностного натяжения растворов смачивателей и пенообразователей // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2015.- №3.- С. 31-43

59. Гуцев Н.Д., Михайлова Н.В., Грабежева Н.А. Результаты разработки нового универсального огнетушащего состава со смачивающими, пенообразующими и антипиренными свойствами // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2017.- №1- С. 62-77

60. Гуцев Н.Д., Михайлова Н.В., Корчунова И.Ю. Анализ результатов опроса о применении огнетушащих составов для тушения лесных пожаров в российской федерации // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2014.- №4.- С. 71-80

61. Гуцев Н.Д., Михайлова Н.В., Корчунова И.Ю. Результаты сравнительных испытаний новых огнетушащих составов на модельных лесных пожарах // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2013.- №4.- С. 40-52

62. Гуцев Н.Д., Михайлова Н.В., Куприн Г.Н., Куприн Д.С., Виноградов А.В., Виноградов В.В. Результаты лабораторных исследований свойств быстротвердеющей пены с целью оценки возможности использования её для создания противопожарных пенных полос // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2016.- №1.- С. 14-27
63. Гуцев Н.Д., Михайлова Н.В. Разработка методик лабораторных исследований огнетушащих растворов // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства, 2015.- №2.- С. 55-70
64. Дебков Н.М., Ильинцев А.С. Структура и динамика возобновления лесов на гарях средней тайги Западной Сибири // Лесной вестник, 2018.- №6.- С. 31-39
65. Денисов С.А., Конюхова Т.А., Рачкова Т.С. Управление лесовосстановлением на гарях // Вестник ПГТУ Серия “Лес. Экология. Природопользование”, 2015.- №3.- С. 5-17
66. Денисов С.А., Шакирова З.Н. Влияние температурных условий низового пожара на всхожесть семян сосны обыкновенной // Вестник ПГТУ Серия “Лес. Экология. Природопользование”, 2017.- №4.- С. 35-47
67. Доррер Г.А., Яровой С.В. Описание процессов распространения и ликвидации природных пожаров с помощью агентных моделей // Сибирский лесной журнал, 2017.- №5.- С. 105-113
68. Драпалюк М. В., Малюков С. В., Гнусов М. А. Совершенствование процесса работы грунтометательной машины // // Молодой ученый, 2014. – № 1 (03). – С. 22-24.
69. Дубинин А.Е., Мумбер А.Г., Григорьев В.В., Платонов Е.Ю., Ольховка И.Э. Хронология лесных пожаров в Ильменском заповеднике // Лесной вестник, 2007.- №8.- С. 4-7
70. Дыржинов Ж.Д., Гынинова А.Б., Гончиков Б.М.Н. Воздействие лесных пожаров на почвы сосновых боров Прибайкалья // Научная жизнь, 2019.- № 9.- С. 86-98

71. Евдокименко М.Д., Иванов В.В. Особенности противопожарного обустройства в лесах Прибайкалья // Сибирский лесной журнал, 2017.- №5.- С. 63-75
72. Евдокименко М.Д. Пирогенные трансформации Байкальских лесов. ретроспектива и современность // Сибирский лесной журнал, 2014.- №3.- С. 64-75
73. Ермолина Т.В., Ермолина А.В. Исследование способа пропитки древесины вспененными растворами огнебиозащитных препаратов // Хвойные бореальной зоны, 2016.- №5-6.- С. 310-314
74. Завод противопожарного и специального оборудования. – Электронный ресурс [<http://vargashi.com/articles/lesnye-pozhary>] Дата обращения 07 мая 2018 .
75. Замолодчиков Д.Г., Грабовский В.И., Шуляк П.П., Честных О.В. Влияние пожаров и заготовок древесины на углеродный баланс лесов России // Лесоведение, Лесоведение, 2013.- №5.- С. 36-49
76. Запорожец А.И. Методические рекомендации по обоснованию системы взаимодействия при тушении лесных пожаров // Лесной вестник, 2008.- №1.- С. 203-205
77. Залесов С.В., Осипенко А.Е., Шубин Д.А. Запасы напочвенных горючих материалов в искусственных сосняках алтайского края // Вестник БГСХА им В.Р. Филиппова, 2016.- №2.- С. 73-79
78. Захматов В.Д. Перспективные современные разработки техники для тушения лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность, 2011. - №2. – С. 47-49
79. Захматов В.Д. Распыление мелкодисперсного огнетушащего порошка и воды выстрелом из стволов или залпом из многоствольных модулей // Пожаровзрывобезопасность, 2015. - №7. – С. 61-70
80. Захматов В.Д., Сильников М.В., Чернышов М.В. Современные проблемы лесных пожаров в чернобыльской зоне // Пожаровзрывобезопасность, 2015. - №11. – С. 55-62

81. Захматов В.Д. Сравнительный анализ возможностей применения различных огнетушителей для тушения лесных пожаров // Пожаровзрывобезопасность, 2012. - №10. – С. 85-88
82. Земли лесного фонда. – Электронный ресурс [<http://2018-2018.ru/zemelnoe-pravo/zemli-lesnogo-fonda.html>] Дата обращения – 15 марта 2018.
83. Зукерт Н.В. прогнозные оценки погодных условий пожароопасного сезона в лесах России в XXI веке // Лесоведение, 2011.- №6, - С. 86-93
84. Иванов В.П., Марченко С.И., Нартов Д.И. Противопожарная профилактика лесных объектов // Лесной журнал, 2019. - №3, - С. 43-54
85. Информационное агенство Eurasia Daily (EADaily). – Электронный ресурс [<http://fb.ru/article/316525/lesnyie-pojaryi-prichinyi-vozniknoveniya-vidyi-i-posledstviya>] Дата обращения – 07 мая 2018.
86. Информационный портал News4Auto, Минерализованная полоса: функции и порядок обустройств. – Электронный ресурс [<http://news4auto.ru/mineralizovannaia-polosa-funkcii-i-poriadok-obystroistva>] Дата обращения 25 мая 2018.
87. Ионова Е. В., Лиховидова В. А., Лобунская И. А. Засуха и гидротермический коэффициент увлажнения как один из критериев оценки степени ее интенсивности (обзор литературы) // Зерновое хозяйство России. 2019. - № 6(66). С. 18–22.
88. Исаев А.С., Уткин А.И., Молодчиков Д.Г., Честных О.В., Зукерт Н.В. Леса России как резервуар органического углерода биосферы // Лесоведение, 2001.- №5.- С. 8–23
89. Калинин К.К. Естественное лесовозобновление и формирование молодняков в еловых и березовых насаждениях на крупных гарях среднего Заволжья // Вестник ПГТУ Серия “Лес. Экология. Природопользование”, 2010.- №1.- С. 5-15
90. Касымов Д.П., Перминов В.В., Рейно В.В., Фильков А.И., Лобода Е.Л. Экспериментальная установка по генерации горящих частиц для исследования

распространения природного пожара // Известия ВУЗов. Физика.- 2017.- Т. 60, № 12/2.- С. 107-112.

91. Ковалева Н.М., Жила С.В., Иванова Г.А. Формирование живого напочвенного покрова на начальной стадии пирогенной сукцессии в сосняках Нижнего Приангарья // Хвойные бореальной зоны, 2012.- №3-4.- С. 265-269

92. Ковалева Н.М., Собачкин Р.С., Екимова Е.Ю. Динамика нижних ярусов растительности после экспериментальных пожаров в сосновых древостоях // Сибирский лесной журнал, 2018.- №2.- С. 61-70

93. Ковалев А.П., Шешуков М.А., Позднякова В.В. Критерии приоритетности тушения лесных пожаров при массовом их возникновении // Лесохозяйственная информация, 2015.- №3.- С. 47-54

94. Кодолов В.И. Замедлители горения полимерных материалов [текст] / В.И.Кодолов. - М.: Химия, 1980. - 274 с.

95. Козаченко М.А., Ашомка С.Н., Кибакина А.В., Юнякин М.Р., Гольш Е.А. Сравнительная оценка жизненного состояния деревьев и древостоев лиственных пород на ненарушенных территориях и после лесных пожаров в лесах Саратовского правобережья // Научная жизнь, 2019.- №1.- С. 102-110

96. Козаченко М.А., Кицаева Н.С., Кузин А.Н. Послепожарная реабилитация лесных почв и напочвенного покрова сосновых лесов в лесостепных условиях Саратовского правобережья // Научная жизнь, 2015.- №2.- С. 83-89

97. Копылов Н.П., Кузнецов А.Е., Федоткин Д.В., Москвиллин Е.А., Стрижак П.А., Коршунов Н.А., Карпов В.Н. Борьба с природными пожарами с применением авиации и перспективные способы прокладки заградительных полос // Хвойные бореальной зоны, 2016.- №5-6. -С. 251-253

98. Краснощеков Ю.Н., Евдокименко М.Д., Доржсурэн Ч. Влияние пожаров на экосистемы подтаежных лиственничных лесов восточного Хэнтэя в Монголии // Сибирский лесной журнал, 2014.- №3.- С. 53-63

99. Кректунов А.А., Залесов С.В., Хабибуллин А.Ф. Перспективность использования быстротвердеющей пены для защиты населенных пунктов от

природных пожаров // Успехи современного естествознания, 2018.- №5.- С. 40-44

100. Кузнецов Ю.А. Уравнения высоты и длины пламени фронта пожара на безлесных площадях Забайкалья // Лесной журнал, 1993.- №4,- С. 4-12

101. Курбанова М.А., Исмаилов И.И. Антипирены на основе борсодержащих кремнийорганических соединений // Химия и химическая технология, 2015. - том 58 вып. 12. – С. 10-13

102. Кухар И.В., Бердникова Л.Н., Орловский С.Н., Мартыновская С.Н., Коршун В.Н., Карнаухов А.И. Влияние вредных и опасных факторов лесных пожаров на окружающую среду // Хвойные бореальной зоны, 2019.- №5.- С. 307-312

103. Леонович А.А., Шелоумов А.В. Сравнительный анализ эффективности огнезащитных средств на примере древесных материалов // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии имени С.М. Кирова, 2016.- №204.- С. 161-171

104. Лесной форум Гринпис. – Электронный ресурс [www.forestforum.ru] Дата обращения 07 мая 2018.

105. Лесные пожары в России. – Электронный ресурс [<https://tass.ru/info/6712527>] Дата обращения – 06 мая 2020

106. Лесные пожары 2020. – Электронный ресурс [<https://www.babr24.com/msk/?IDE=208078>] Дата обращения 11 февраля 2020.

107. Лесные пожары: причины возникновения, виды и последствия. – Электронный ресурс [<http://fb.ru/article/316525/lesnyie-pojuryi-prichinyi-vozniknoveniya-vidyi-i-posledstviya>] Дата обращения 07 мая 2018.

108. Лесохозяйственный регламент ГКУ СО «Саратовское областное лесничество» Вязовского лесничества Саратовской области – Электронный ресурс [https://minforest.saratov.gov.ru/doc/?SECTION_ID=90&ELEMENT_ID=2511] Дата обращения 15 января 2019 г.

109. Магасумова А.Г., Залесова Е.С., Платонов Е.П., Попов А.С., Стародубцева Н.И., Хабибуллин А.Ф Влияние низовых лесных пожаров на живой напочвенный покров в условиях подзоны северной тайги западной Сибири // Использование и охрана природных ресурсов, 2019. - №3.- С. 35-40
110. Маслов А.А., Гульбе Я.И., Макаров Д.А., Сиринов А.А. Восстановление допожарных характеристик лесных насаждений на гари по данным космической съемки и полевых наблюдений // Лесохозяйственная информация, 2017.- №4.- С. 73-84
111. Матвеева Т.А., Бакшеева Е.О. Выживаемость всходов сосны и лиственницы на гарях // Хвойные бореальной зоны, 2014. -№1-2. - С. 29-32
112. Москвилев Е.А., Родионов Е.С., Ерохин С.П., Волков И.В. Борьба с лесными пожарами путем создания заградительных полос методом нанесения быстро твердеющей пены // ФГБУ ВНИИПО МЧС России, 2015. -№41. – С. 62-64
113. Научный журнал «Молодой ученый». – Электронный ресурс [<https://moluch.ru/archive/308/69458>] Дата обращения 05 октября 2020.
114. Некрасов Б.В. Основы общей химии. В 2 т. М.: Изд. “Химия”, 1973. - 656 с
115. Никольский Б.П. Справочник химика: в 7 т. Т. 3 [текст] / Б.П. Никольский - Л.: Химия, 1966. - 1143 с.
116. Ожогин И.М. Связь между влажностью воздуха и лесными пожарами // Лесное хозяйство. 1939. № 8. С. 20–24
117. Ольховка И.Э., Абрамов В.П., Залесов С.В. Анализ горимости лесов и лесопожарное районирование юга тюменской области // Лесной вестник, 2007.-. №8.- С. 40-45
118. Онегин В.И., Сергеевичев А.В. Физико-химические основы процессов формирования полимерных покрытий на твердой поверхности // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии имени С.М. Кирова, 2018.- №223.- С. 213-227

119. Опрыскиватель “ЖУК”. Паспорт (URL:<https://poryadok.ru/upload/iblock/628/6286d584b7ca5b055d8701c3071021d3.pdf> Дата обращения 08.01.2020)
120. Осадчий Г.Б. Установка для локализации и тушения пожара // Лесной журнал, 2001.- №1.- С. 32-35
121. Официальный сайт еженедельника «Аргументы и факты». – Электронный ресурс [https://aif.ru/society/nature/v_cifrah_i_faktah_na_territorii_rossii_proizrastaet_809 mln_ga_lesa] Дата обращения 01 января 2020.
122. Официальный сайт ООО Лесмашпром. – Электронный ресурс [<http://lesmashprom.ru/products/lesnye-plugi/pkl-70d>] Дата обращения 02 июня 2018.
123. Официальный сайт Гарант.ру Методика тушения ландшафтных пожаров (утв. МЧС России 14 сентября 2015 г. № 2-4-87-32-ЛБ) ГАРАНТ.РУ: Электронный ресурс [<http://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/71145496/>] Дата обращения 15 сентября 2018г.
124. Официальный сайт сетевого издания «Новости Саратовской губернии». Постановление об утверждении лесного плана Саратовской области на 2019-2028гг. – Электронный ресурс [<https://g-64.ru/upload/off/040120192057пгсо%20590.pdf>] Дата обращения 01 января 2020.
125. Патент 2264242 РФ, МПК А62С5/033 Способ тушения пожара и состав для его осуществления / Борисов П.Ф., Росоха В.Е., Абрамов Ю.А., и т.д.; заявитель и патентообладатель: Академия пожарной безопасности Украины (АПБУ). - № 2003137256/12; заявл. 23.12.03; опубл. Бюл. № 32
126. Патент 2262367 РФ, МПК А62D 1/00 Водный состав для тушения пожаров / Ветошкин Ю. П., Горелов В.В.; заявитель и патентообладатель: Ветошкин Ю.П., Горелов В.В. - №2004122184/15; заявл. 19.07.04; опубл. 20.10.05.
127. Патент 2098158 РФ, МПК А62D1/005 Минерально – водяная суспензия для тушения пожаров / Гуров А.И., Одновол Л.А., Сытников А.Н.; заявитель и патентообладатель: Международный фонд попечителей Московского

государственного авиационного технологического университета им. К. Э. Циолковского. - № 96110494/12; заявл. 24.05.96; опубл. 10.12.97.

128. Патент 2275951 РФ, МПК А62D 1/00 Водный раствор для тушения пожаров / Лотов В.А., Лотова Л.Г., Смирнов А.П.; заявитель и патентообладатель: ГОУ ВПО Томский политехнический университет. - №2004132686/15; заявл. 09.11.04; опубл. 10.05.06 Бюл. №13

129. Патент 882404 СССР, МПК А62СN16 Способ гашения горючих материалов / Энси Яурос; заявитель и патентообладатель: А. Альстрем осакейхтие (фирма). - №2641852; заявл. 01.08.78

130. Писаренко А.И., Страхов В.В. Особенности адаптации лесов и лесного хозяйства России к изменениям климата // Использование и охрана природных ресурсов, 2017.- №3.- С. 37-43

131. Письмо от 11 мая 1995 года № 4-36/336 Рекомендации по оплате труда и материальному стимулированию работников, занятых на весенне-полевых работах, уборке урожая и заготовке кормов. – Электронный ресурс [<http://docs.cntd.ru/document/902299293>] Дата обращения 25 июня 2018 г.

132. Полевой справочник лесного пожарного - Электронный ресурс [<http://www.forestforum.ru/info/fireman.pdf>] Дата обращения 15 июня 2018 г.

133. Почитаева М.В., Иплаев М.Д. Повышение эффективности профилактики лесных пожаров // Вестник ПГТУ Серия “Лес. Экология. Природопользование”, 2014.- №1.- С. 42-52

134. Пряхина С.И. Климат Саратовской области. Энциклопедия Саратовского края. Саратов: Приволжское кн. изд-во, 2002. – С. 24-28.

135. Приказ Федерального агентства лесного хозяйства от 5 июля 2011 г. № 287 "Об утверждении классификации природной пожарной опасности лесов и классификации пожарной опасности в лесах в зависимости от условий погоды". - Электронный ресурс. [<http://ivo.garant.ru/#/document/12189021/paragraph/1/doclist/17649/showentries/0/highlight/Федерального%20агентства%20лесного%20хозяйства%20от%205%20июля%202011%20года%20N%20287%20%22Об%20утверждении%20классификации%20природной%20пожарной%20опасности%20лесов%2>

Ои%20классификации%20пожарной%20опасности%20в%20лесах%20в%20зависи мости%20от%20условий%20погоды:5]. Дата обращения 15 сентября 2015 г.

136. Приказ от 26 апреля 2006 г. № 317 «Об утверждении межотраслевых типовых норм выработки на лесокультурные работы, выполняемые в равнинных условиях». - Электронный ресурс. [<https://normativ.kontur.ru/document?moduleId=1&documentId=112737>] Дата обращения 30 сентября 2015 г.

137. Расев А.И., Косарин А. А., Красухина Л.П. Технология и оборудование защитной обработки древесины [Текст] / А.И. Расев, А.А. Косарин, Л.П. Красухина.- МГУЛ, 2010. – 171 с.

138. РД 52.04.253-90 Методика прогнозирования масштабов заражения сильнодействующими ядовитыми веществами при авариях (разрушениях) на химически опасных объектах и транспорте Дата введения 1990-07-01

139. Редькин А.Ю., Волокитина А.В. Определение типов основных проводников горения в процессе лесоустройства // Хвойные бореальной зоны, 2014.- №3-4.- С. 47-52

140. Савченко Т.А., Панкин К.Е. Антипирены – ингибиторы горения лесного горючего материала // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях Материалы III международной научно-практической конференции. - 2016. - С. 71-75.

141. Савченко Т.А., Панкин К.Е. Экспериментальное исследование эффективности действия антипиренов на воспламенение древесины // Инновации в природообустройстве и защите в чрезвычайных ситуациях Материалы III международной научно-практической конференции. - 2016. - С. 75-79.

142. Сайт гидрометеорологии. – Электронный ресурс [<https://rp5.ru/docs/about/ru>] Дата обращения 02 декабря 2020.

143. Санников С.Н., Санникова Н.С., Терехов Г.Г. Принципы создания противопожарных лесных полос с барьером из лиственных видов для защиты от верховых пожаров // Сибирский лесной журнал, 2017.- №5,- С. 76-83

144. Санников С.П., Герц Э.Ф., Шипилов В.В., Серков П.А. Моделирование системы мониторинга перемещения лесосырьевых потоков и пожаров на основе синергетической сети RFID датчиков // Лесной вестник, 2014.- №2-С. С. 104-110
145. Сборник рефератов «География» Лесные ресурсы и их значение для человечества. – Электронный ресурс [<https://bagazhznaniy.ru/geography/lesnye-resursy-i-ix-znachenie-dlya-chelovechestva>] Дата обращения – 15 марта 2018.
146. Серков Б.Б., Сивенков А.Б., Буй Динь Тхань, Асеева Р.М. Тепловыделение при горении древесины // Лесной вестник, 2003.- №5.- С. 74-79
147. Славянский А.К., Шарков В.И., Ливеровский А.А. Химическая технология древесины. М., 1962. 578 с.
148. Смолвик В.А., Дозморов П.С. Низкоскоростной пневмотранспорт с высокой концентрацией сыпучего материала: Монография Томск: Изд-во Национального исследовательского Томского государственного университета, 2016, С.210
149. Сныткин Г.В. Особенности лесных пожаров в разных формациях, типах леса и методы их тушения в лесах крайнего северо-востока Сибири // Лесной вестник, 2001.- №5.- С. 37-49
150. Сныткин Г.В. Прогноз и тушение крупных лесных пожаров на крайнем Северо-Востоке Сибири // Лесной вестник, 2002. - №5.- С. 85-95
151. Соколова Г.В. Влияние лесных пожаров на погоду // Лесной журнал, 2006.- №6.- С. 128-131
152. Соловьев Д.А., Журавлева Л.А., Павлусенко Р.Н., Ю.Ф. Повышение эффективности использования ручных ранцевых огнетушителей для борьбы с лесными пожарами // Научная жизнь, 2018.- №12.- С. 8-18
153. Сосновчик Ю.Ф. Лесные пожары и борьба с ними: математическое моделирование закономерностей возникновения и развития лесных пожаров в

сложных физико-географических и климатических условиях // Научная жизнь, 2016.- №8.- С. 16-26

154. Софронов М.А., Волокитина А.В. Пирологическое районирование в таежной зоне. Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1990. 205 с.

155. Софронов М.А., Волокитина А.В., Софронова Т.М. Анализ моделей распространения лесных пожаров // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии имени С.М. Кирова, 2010.- №191, - С. 78-85

156. Справочник добровольного лесного пожарного [Электронный ресурс].- Режим доступа: <https://aviales.ru/files/documents/2013/02/spravochnik.pdf>

157. Тарасов П.А., Гайдукова А.Ф., Иванов В.А. Послепожарные изменения гидротермических параметров почв Балгазынского бора и проблема его восстановления // Хвойные бореальной зоны, 2013.- №5-6.- С. 15-21

158. Федеральная служба государственной статистики. Сведения о заработной плате работников организаций по категориям персонала и профессиональным группам работников за октябрь 2017г . – Электронный ресурс [http://www.gks.ru/wps/wcm/connect/rosstat_main/rosstat/ru/statistics/wages/labour_costs] Дата обращения 25 июня 2018.

159. Федеральный закон №200 ФЗ - М.: Лесной кодекс Российской Федерации, 2006. - 109 с.

160. Физико-химические основы развития и тушения пожаров [Текст]: учебное пособие / С.С. Тимофеева, [и др.].- Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2013.- 178 с.

161. Фуряев В.В. Глобальные и региональные проблемы лесных пожаров // Лесоведение, 2004.- №3.- С. 72-73

162. Фуряев В.В., Черных В.А., Злобина Л.П. Роль подроста в формировании комплекса лесных горючих материалов и снижении пожароустойчивости ленточных боров Алтая // Лесоведение, 2010. - №3,- С. 15-20

163. Фуряев В.В., Цветков П.А., Фуряев И.В., Злобина Л.П. Горимость лесов и лесоводственно-экономические предпосылки для улучшения охраны в

лесных районах Красноярского края // Сибирский лесной журнал, 2017.- №5,- С. 55-62

164. Фуряев В.В., Цветков П.А., Фуряев И.В., Злобина Л.П. Условия возникновения и распространения пожаров в лесных районах Красноярского края // Хвойные бореальной зоны, 2017.- №1-2.- С. 66-74

165. Хабибуллин А.Ф., Магасумова А.Г., Залесова Е.С., Платонов Е.П. Живой напочвенный покров на пройденных лесными пожарами площадях в сосняке бруснично-багульниковом подзоны северной тайги западной Сибири // Вестник БГСХА им В.Р. Филиппова, 2019.- №2.- С. 87-94

166. Цай Ю.Т., Груманс В.М. Оценка энергозатрат рабочих при тушении лесных пожаров // Лесной журнал, 2009.- №3.- С. 25-29

167. Цветков П.А. Влияние пожаров на начальный этап лесообразования в среднетаежных сосняках Сибири // Хвойные бореальной зоны, 2013.- №1-2.- С. 15-21

168. Цветков П.А., Кудинов Е.Н. Влияние несплошных рубок на пожароопасность сосняков Красноярской лесостепи // Хвойные бореальной зоны, 2014.- №3-4.- С. 74-77

169. Цветков П.А. О последствиях лесных пожаров в Сибири // Хвойные бореальной зоны, 2013.- №5-6,- С. 10-14

170. Чертов О.Г., Комаров А.С., Грязькин А.В., Смирнов А.П., Бхатти Д.С. Имитационное моделирование влияния лесных пожаров на пулы углерода в хвойных лесах Европейской России и центральной Канады // Лесоведение, 2012.- №2.- С. 3-10

171. Чумаченко С.И., Мухин А.С. Природная пожарная опасность смешанных лесных насаждений. модельный подход // Лесной вестник, 2013.- №7.- С. 72-73

172. Швиденко А.З., Щепашенко Д.Г. Климатические изменения и лесные пожары в России // Лесоведение, 2013, №5, С. 50-61

173. Шуляк П.П., Ершов Д.В., Коровин Г.Н. Контроль динамики крупных лесных пожаров и оценка эффективности и своевременности их обнаружения и тушения // Лесоведение, 2014.- №5.- С. 30-41
174. Шиян Л.Н. Химия воды. Водоподготовка: Учебное пособие. - Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 72 с.
175. Энциклопедия лесного хозяйства. – Электронный ресурс [http://www.woodyman.ru/publ/235-1-0-4216] Дата обращения 05 мая 2018.
176. Яровой С.В., Дорпер Г.А. Расчет локализационных траекторий при управлении лесной ситуацией // Хвойные бореальной зоны, 2014.- №1-2.- С. 49-51
177. Bakirtzis D., Delichatsios M.A., Liodakis S., Ahmed W. Fire retardancy impact of sodium bicarbonate on ligno-cellulosic materials [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2009.- Vol. 486.- pp. 11–19.
178. Bakirtzis D., Tsapara V., Liodakis S., Delichatsios M.A. ATR investigation of the mass residue from the pyrolysis of fire retarded lignocellulosic materials [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2012.- Vol. 550.- pp. 48– 52.
179. Gabysheva L.P., Isaev A.P. Forest fires impact on microclimatic and soil conditions in the forests of cryolithic zone (yakutia, north-eastern Russia) // *Сибирский лесной журнал*, 2015.- №6.- С. 96-111
180. Jimenez M., Duquesne S., Bourbigot S. Intumescent fire protective coating: Toward a better understanding of their mechanism of action [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2006.- Vol. 449.- pp. 16–26.
181. Lessan F., Montazer M., Moghadam M.B. A novel durable flame-retardant cotton fabric using sodium hypophosphite, nano TiO₂ and maleic acid [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2011.- Vol. 520.- pp. 48–54.
182. Liodakis S., Antonopoulos I., Agiovlasis I.P., Kakardakis T. Testing the fire retardancy of Greek minerals hydromagnesite and huntite on WUI forest species *Phillyrea latifolia* L. [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2008.- Vol.469 .- pp. 43–51.

183. Liodakis S., Katsigiannis G., Lympelopoulou T. Ash properties of *Pinus halepensis* needles treated with diammonium phosphate [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2007.-Vol. 453.- pp. 136–146.
184. Liodakis S., Tsapara V., Agiovlasis I.P., Vorisis D. Thermal analysis of *Pinus sylvestris* L. wood samples treated with a new gel–mineral mixture of short- and long-term fire retardants [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2013.- Vol. 568.- pp. 156–160.
185. Liodakis S., Vorisis D., Agiovlasis I.P. Testing the retardancy effect of various inorganic chemicals on smoldering combustion of *Pinus halepensis* needles [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2006-Vol. 444.- pp. 157–165.
186. Ma H., Fang Z. Synthesis and carbonization chemistry of a phosphorous–nitrogen based intumescent flame retardant [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2012.- Vol. 543.- pp. 130–136.
187. Pawlowski K.H., Scharrel B., Fichera M.A., Joger C. Flame retardancy mechanisms of bisphenol A bis(diphenyl phosphate) in combination with zinc borate in bisphenol A polycarbonate/acrylonitrile–butadiene–styrene blends [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2010.- Vol. 498.- pp. 92–99.
188. Perez-Moreno S.M., Gazquez M.J., Barneto A.G., Bolivar J.P. Thermal characterization of new fire-insulating materials from industrial inorganic TiO₂ wastes [Text] // *Thermochimica Acta.*-2013.-Vol.552.-pp.114–122.
189. Richter T.E. Ground Cover Fire Fighting for Structural Firefighters. Manual.- Fire protection publication Oklahoma State University, USA, 2014, 209 p.
190. Song J., Liu N., Li H. et al. The wind effect on the transportation and Burning of Firebrands // *Fire technology*, 2017, 53, P. 1555–1568.
191. Sut A., Greiser S., Jager C., Scharrel B. Aluminium diethylphosphinate versus ammonium polyphosphate: A comprehensive comparison of the chemical interactions during pyrolysis in flame-retarded polyolefine/poly(phenylene oxide) [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2016.- Vol. 640.- pp. 74–84.

192. Tomaka E.D., Baysal E., Peker H. The effect of some wood preservatives on the thermal degradation of Scots pine [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2012.- Vol. 547.- pp. 76– 82.

193. Zhang P., Hu Y., Song L., Lu H., Wang J., Liu Q. Synergistic effect of iron and intumescent flame retardant on shape-stabilized phase change material [Text] // *Thermochimica Acta.*- 2009.- Vol. 487.- pp. 74–79.

ПРИЛОЖЕНИЕ А – Письмо – Ответ от Министерства природных ресурсов и экологии Саратовской области о предоставлении сведений лесных пожарах за период 2010 - 2019гг.



**МИНИСТЕРСТВО
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
И ЭКОЛОГИИ
САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

**О.И. Ивченко (Погореловой)
E-mail: olgalexan607@mail.ru**

ул. 1-я Садовая, 131а, г. Саратов, 410005
Тел.: (845-2) 29-26-77; факс (845-2) 29-25-26
ecocom@saratov.gov.ru; saratovles@mail.ru

10.09.2019 № 03-02-24/ 957/Б
на № _____

О рассмотрении обращения

Уважаемая Ольга Александровна!

Рассмотрев Ваше обращение министерство природных ресурсов и экологии области (далее министерство) сообщает следующее.

Информация о лесных пожарах, произошедших на территории области в систематизированном электронном виде, имеется только за период 2014 – 2019 гг. (прилагается). Информация за период 2010 – 2013 гг. имеется только на бумажных носителях. Для получения доступа к данной информации Вы можете обратиться в отдел лесовосстановления, охраны и защиты лесов министерства, контактное лицо – Шепталов Максим Анатольевич (тел. 47-03-25).

Приложение: Реестр лесных пожаров 2014.xlsx в 1 экз;

Реестр лесных пожаров 2015.xlsx в 1 экз;

Реестр лесных пожаров 2016.xlsx в 1 экз;

Реестр лесных пожаров 2017.xlsx в 1 экз;

Реестр лесных пожаров 2018.xlsx в 1 экз;

Реестр лесных пожаров 2019.xlsx в 1 экз.

**Первый заместитель министра –
начальник управления
лесного хозяйства**

В.Г. Попов

Шепталов Максим Анатольевич
+7 (845-2) 47-03-25

ПРИЛОЖЕНИЕ Б – Письмо – Ответ от Министерства природных ресурсов и экологии Саратовской области о предоставлении актуальной информации о лесных пожарах за 2019 - 2020гг.



**МИНИСТЕРСТВО
ПРИРОДНЫХ РЕСУРСОВ
И ЭКОЛОГИИ
САРАТОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

ул. 1-я Садовая, 131а, г. Саратов, 410005
Тел.: (845-2) 49-05-50; факс (845-2) 49-05-25
ecocom@saratov.gov.ru; saratovles@mail.ru

12.05.2020 № 09-54/293/П
на № _____

О рассмотрении обращения

О. Погореловой
E-mail: olgalexan607@mail.ru

Уважаемая Ольга Александровна!

Рассмотрев Ваше обращение министерство природных ресурсов и экологии области (далее министерство) сообщает следующее.

Запрашиваемая Вами информация за период 2010 – 2018 гг, и способ её получения были направлены 10.09.2019 на адрес Вашей электронной почты письмом министерства (от 10.09.2019 № 03-02-24/957/П). Актуализированная информация о лесных пожарах, произошедших на территории области в 2019 г. прилагается. Итоговую информацию о пожарах за 2020 г. Вы можете дополнительно получить в министерстве после окончания пожароопасного сезона текущего года (ноябрь).

Приложение: Реестр лесных пожаров 2019.xlsx в 1 экз.

**Первый заместитель министра –
начальник управления
лесного хозяйства**

В.Г. Попов

Шепталов Максим Анатольевич
+7 (845-2) 49-05-65