

ГУДИНА АЛЕКСАНДРА ГЕННАДЬЕВНА

**СОСТОЯНИЕ И РОСТ НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ, ПРОЙДЕННЫХ ЛЕСНЫМИ
ПОЖАРАМИ В АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ**

06.03.02 – Лесоведение, лесоводство,
лесоустройство и лесная таксация

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Архангельск, 2019

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

Научный
руководитель

доктор сельскохозяйственных наук, доцент,
Третьяков Сергей Васильевич

Официальные
оппоненты:

Залесов Сергей Вениаминович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет»;

Неверов Николай Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории глубинного геологического строения и динамики литосферы ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаврова Российской академии наук».

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина».

Защита диссертации состоится 3 июня 2020 года в 13:00 часов на заседании диссертационного совета Д 212.008.03 на базе ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» по адресу: 163002, г. Архангельск, наб. Северной Двины, 17, главный корпус, ауд. 1220.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке на сайте ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова», www.narfu.ru

Автореферат разослан «___» _____ 2020 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Клевцов Денис Николаевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Низовые интенсивные лесные пожары негативно влияют на все компоненты лесного биогеоценоза. Пирогенному воздействию подвергается не только главный компонент насаждения - древостой, но и второстепенные – подрост, подлесок, живой напочвенный покров, почва. Состояние насаждения после пожара и протекающие в нем процессы, такие как возобновление, зависят в основном от вида пожара, его интенсивности, типа леса, породного состава и возраста насаждения, а также от других многочисленных факторов. Основными диагностическими признаками пожара и его последствий являются: высота нагара на стволах и их повреждение огнем, степень прогорания напочвенного покрова и лесной подстилки, воздействие высоких температур на почву. Оценку состояния сосновых насаждений после пожара необходимо проводить для того, чтобы на основании полученных характеристик правильно организовать ведение лесного хозяйства, определить ожидаемые эффекты, прогнозировать рост и состояние послепожарных естественных экосистем, а также проанализировать перспективы лесовосстановления и возможность использования послепожарной древесины.

Степень разработанности темы. Имеется обширный перечень работ, касающихся вопросов изучения последствий лесных пожаров (Мелехов, 1948; Вакуров, 1975; Иванова, 1976, Иванов, Иванова, 2010; Войнов, Анишин, Сафонов, 1978, 1980; Войнов, Третьяков, 1988, Залесов, 1998; Залесов, Залесова, Оплетьев, 2013 и др.). В тоже время, проблематика изучения причин возникновения лесных пожаров, хода роста сохранившихся после пожара насаждений сосны, процессов лесовозобновления на горельниках, послепожарного отпада, путей использования постпирогенной древесины сосны в научной литературе освещена недостаточно. Анализ литературных данных, касающихся определения состояния послепожарных сосновых насаждений, оценки горимости и послепожарного отпада в северных лесах, возможности использования постпирогенной древесины показал, что на сегодняшний день отсутствует единая нормативная база по определению данных показателей и существует потребность в разработке соответствующих таксационных методов с учетом различных факторов.

Правильная оценка состояния и роста насаждений сосны, пройденных лесным пожаром в таежных лесах, позволит организовать рациональное ведение лесного хозяйства, включая лесовосстановление и найти пути использования древесины горельников.

Цель исследования: разработать научно-обоснованную систему ведения хозяйства в сосновых насаждениях, пройденных лесными пожарами. Оценить состояние, рост и продуктивности насаждений сформировавшихся на горях прошлых лет.

Задачи исследований:

- установление причин возникновения лесных пожаров в сосновых насаждениях;
- оценка состояния послепожарных сосновых насаждений;
- оценка товарности в сосновых насаждениях, пройденных низовым пожаром;
- анализ роста и продуктивности сосновых насаждений сосны пройденных низовыми лесными пожарами;
- анализ почвенных условий послепожарных насаждений в исследуемом районе;
- анализ процессов лесовосстановления на гарях;
- оценка теплотворной способности древесины сосны после низового пожара;
- разработка рекомендаций по ведению хозяйства в насаждениях сосны, пройденных пожаром.

Научная новизна. Произведена оценка состояния, роста и продуктивности сосновых насаждений сформировавшихся на гарях прошлых лет с последующей разработкой рекомендаций для северо-таежного и Двинско-Вычегодского таежного районов. Проведен анализ послепожарного отпада в сосновых насаждениях, пройденных лесным пожаром, разработаны нормативы оценки послепожарного отпада в таежных лесах. Проведен анализ теплотворности послепожарной древесины и разработаны рекомендации для ее дальнейшего применения в качестве биотоплива. Проведена оценка товарности послепожарной древесины и разработаны рекомендации по ее применению. Разработана научно-обоснованная система ведения лесного хозяйства в сосновых насаждениях, пройденных лесными пожарами.

Теоретическая и практическая значимость работы. Результаты, полученные при анализе хода роста, отпада и продуктивности послепожарных насаждений сосны, создают теоретические и практические основы для рационального ведения лесного хозяйства в послепожарных насаждениях и таксации послепожарных насаждений. Дана оценка теплотворности древесины сосны после низового пожара. Предложены параметры для оценки экологического ущерба.

Разработаны нормативы для оценки размера отпада в древостоях сосны, пройденных низовым пожаром. Разработаны рекомендации для определения размера ущерба от лесных пожаров. Определение теплотворной способности послепожарной древесины позволит значительно рационализировать ее применение в хозяйственной деятельности. Оценка товарности послепожарных насаждений позволит рационально использовать древесину, полученную при проведении санитарных рубок по уборке сухостоя. Проведение санитарных рубок в первые два года после пожара позволяет использовать деловую древесину, тем самым избежав её полного перехода в дровяную категорию. Разработан комплекс мероприятий по хозяйственному использованию послепожарной древесины.

Методология и методы исследований. Для сбора материалов применялись принятые в лесной таксации методы. Для оценки состояния, роста и продуктивности насаждений, сформировавшихся на гарях прошлых лет, заложены пробные площади. Подбирали участки сосновых насаждений разного возраста, пройденные пожарами в прошлом и свежие гари. Давность пожара на всех исследуемых участках составила в среднем 7-10 лет. Объектом исследования были выбраны сосновые насаждения в возрасте 90-110 лет, пройденные низовыми устойчивыми пожарами.

Для обработки экспериментальных материалов применяли методы математической статистики.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Установлено, что гибель большей части соснового древостоя происходит в первые годы после пожара. Рост сосновых насаждений на горельниках по прошествии 8 – 10 лет после пожара стабилизировался.
2. Доказано, что сосновые древостои сохраняют жизнеспособность после устойчивого низового пожара при среднем диаметре 20-26 см и средней высоте нагара до 2,1-2,5 м в возрасте 90-100 лет.
3. Определен норматив для оценки размеров послепожарного отпада в таежных сосновых древостоях (на примере Архангельской области).
4. Определена теплопроводная способность термомодифицированной древесины в послепожарных насаждениях сосны Архангельской области.
5. Определен средний процент снижения товарности послепожарной древесины в зависимости от интенсивности лесного пожара и высоты нагара.
6. Разработаны рекомендации по применению послепожарной древесины для хозяйственных нужд.
7. Разработаны рекомендации по ведению лесного хозяйства в сосновых насаждениях, пройденных низовым устойчивым пожаром.

Степень достоверности и апробация результатов. Достоверность полученных результатов исследований обеспечивается большим объемом экспериментального материала, современными методами обработки, анализа и оценки достоверности результатов исследований.

Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на научных конференциях профессорско-преподавательского состава, научных сотрудников и аспирантов САФУ: «Моделирование природных и техногенных чрезвычайных ситуаций и рисков их возникновения: синтез достижений технических и социальных наук» (Архангельск, 2016); молодежном форуме «Арктика. Сделано в России» (Архангельск, 2017); XXV Международная

научная конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» МГУ (Москва, 2018); VI Международной научно-практической конференции «Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование», Географический факультет МПГУ (Москва, 2018); V международный Арктический форум «АРКТИКА – территория диалога» (Архангельск, 2019).

По материалам диссертации опубликовано 14 статей, в том числе 3 в рецензируемых журналах, рекомендованных ВАК.

Личный вклад автора. Автор лично провела научные исследования в 2016-2018 гг. Самостоятельно осуществила постановку проблемы, сформулировала цели и задачи, разработала программные вопросы, обобщила и изложила результаты исследований в диссертационной работе.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 9 глав основного текста рекомендаций производству и заключения, включает 50 рисунков, 42 таблицы, изложен на 144 страницах. Список литературы состоит из 121 наименования, из которых 14 источников на иностранном языке и 2 ссылки на электронные ресурсы.

1. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

Лесной пожар – мощный природный фактор, имевший место на нашей планете задолго до появления человека, как экологического вида. Именно лесные пожары являются основным параметром, определяющим состояние и динамику, как лесного фонда России, так и всего Северного полушария (Мелехов, 1948). Исследования, выполненные в области лесоведения, геоботаники, почвоведения, биогеографии и физиологии растений свидетельствуют о многоплановом влиянии пожаров на лесные фитоценозы. Многие авторы в своих трудах отмечают, что подавляющее большинство пожаров, до 95 %, возникают именно по вине человека (Нестеров 1954, Мелехов 1978). Охрана лесов от пожаров включает в себя комплекс организационных, правовых и технических мер, направленных на предупреждение их возникновения и на эффективную ликвидацию (Вакуров, 1975).

Для определения пожарной опасности в лесах пользуются методом комплексного учета, разработанным В.Г. Нестеровым, на основании данного метода ведется прогнозирование лесных пожаров во многих странах (Davis, 1959; Арцибашев, 1979; Forestry Canada, fire Danger Group, 1992; Волокитина, Софронов, 1996).

Объектами исследования были выбраны сосновые насаждения в возрасте 100-110 лет, пройденные низовыми устойчивыми пожарами в северной (Северодвинском и Обозерском лесничествах) и средней (Вельском лесничестве) подзонах тайги на территории Архангельской области (Ведение лесного хозяйства на типологической основе, 1988). По лесорастительному

районированию территория Вельского района относится к Двинско-Вычегодскому таежному району, Плесецкого и Приморского районов к Северо-таежному району европейской части Российской Федерации (Приказ МПР, 2014).

Все лесные горючие материалы, в зависимости от их влагосодержания, являются основной пожарной нагрузкой в лесах, к побочной можно отнести горючий мусор, стеклянные осколки и т.д. (Анцышкин, 1957; Амосов, 1958; Мелехов, 1982; Forestry Canada, fire Danger Group, 1992; Волокитина, Софронов, 1996).

Оценка успешности лесовосстановления на вырубках и горельниках является важной задачей для прогнозирования в будущем лесных запасов. Внедрение дистанционного мониторинга воспроизводства лесов позволит вести наблюдение на труднодоступной в транспортном отношении территории, а также получать своевременную актуальную информацию о состоянии насаждений, пройденных лесным пожаром. Вопрос оценки успешности лесовосстановления дистанционными методами на сегодняшний день малоизучен и практически не освещен в научной литературе (Карпов и др., 2019).

Проблема лесных пожаров остается одной из наиболее актуальных, наряду с рациональным использованием постпирогенной древесины (Зонова, Гурьева, 2016; Клевцов, Тюкавина, 2018).

Выявление свойств термически обработанной природным стихийным фактором древесины позволит рационально использовать её как сырьевой ресурс, например, для изготовления топливных брикетов или гранул. Производство твердого биотоплива является важным направлением в биоэкономике в связи с необходимостью развития возобновляемой энергетики (Орсик и др. 2008; Растова, 2010; Астафуров, 2011; Сальников и др., 2012; Зонова, 2016). Перспективным возобновляемым видом топлива является энергетическая биомасса леса (Karjalainen et al., 2004), так как характеризуется нейтральным уровнем эмиссии углерода, меньшим выбросом оксида азота и сажи, других вредных веществ, в результате дымовые газы при сжигании древесины не требуют дополнительной очистки (Тюрикова, 2015). Рациональное использование древесины является огромным энергетическим потенциалом (Панцхава и др., 2008).

Потенциальными сырьем для твердого биотоплива в мире являются порубочные остатки: вершины, сучья, зеленая масса листьев и хвои, а также пни и часть круглого леса, состоящая из доли стволовой древесины относимой к дровам, которая не находит сбыта (Karjalainen et al., 2004). Средние величины теплотворной способности хвои, древесины, коры и сучьев близки между собой и составляют 5195, 4903, 4842 и 4959 ккал/кг соответственно. Однако древесиной в целом аккумулируется большее количество солнечной энергии (66 %) по сравнению с другими фракциями наземной фитомассы древостоя (Клевцов, Тюкавина, 2018).

2. ЕСТЕСТВЕННО-ИСТОРИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЯ

Район исследования располагается на северо-востоке Европейской части Российской Федерации в северной и средней подзонах тайги на территории Архангельской области. Площадь Архангельской области около 587,4 тыс. км². Леса занимают 39 % этой площади, сельскохозяйственные угодья – 1,3 %, оленьи пастбища – 24,2 %, острова – 19 %, остальное занимают реки, болота и озёра. Покрытая лесом площадь составляет 22,9 млн. га. Общий запас насчитывает примерно 2500 млн. м³ древесины (Лесной план Архангельской области, 2018).

В северо-таежном лесном районе Европейской части Российской Федерации спелые и перестойные хвойные насаждения сохранились на 60 % общей площади лесов.

В Двинско-Вычегодском таежном районе Архангельской области доля сохранившихся спелых и перестойных хвойных насаждений составляет 36 %. Это в основном, заболоченные сосняки и ельники. Часть насаждений пройдена выборочными рубками. Средний запас спелых насаждений равен 158 м³/га, в то же время запас приспевающих, сформировавшихся на вырубках и гарях начала прошлого века составляет в среднем 190 м³/га. В эксплуатационных лесах области в хвойном хозяйстве по площади преобладают спелые и перестойные лесные насаждения (64,6 %). Молодняки занимают 17,6 %, средневозрастные 12,2 % и приспевающие 5,6 % общей площади хвойных лесов. Эксплуатационный запас спелых и перестойных лесных насаждений в лесах области представлен елью на 64,6 %, сосной на 22,1 %, березой на 10,2 %, осинкой на 2,6% и другими древесными породами на 0,5 %.

3. МЕТОДИКА СБОРА МАТЕРИАЛОВ

Для сбора материалов с целью разработки научно-обоснованной системы ведения хозяйства в насаждениях, пройденных лесными пожарами на территории северной и средней подзоны тайги, применялись принятые в лесном хозяйстве методы. Оценка состояния, роста и продуктивности насаждений, сформировавшихся на гарях прошлых лет, выполняли с использованием материалов пробных площадей, заложенных в насаждениях разного возраста, пройденных пожарами в прошлом и на свежих гарях.

Для каждого участка устанавливали причины возникновения лесных пожаров в сосновых насаждениях и год пожара.

Использовали методы дистанционного зондирования земли для обнаружения и оценки последствий пожаров в сосновых насаждениях, оценки процессов лесовозобновления на гарях.

Исходные данные:

1. Материалы лесоустройства.

2. Полевые материалы (карточки таксации пробных площадей, ведомости индивидуального перечета, материалы обработки пробных площадей).

3. Материалы прошлых лет о состоянии насаждений в местах закладки пробных площадей.

4. Почвенные разрезы, почвенные прикопки, почвенные образцы.

5. Геоботаническое описание кустарниковой и травянистой растительности

6. Статистические данные о лесных пожарах по районам исследования за последние 5-10 лет.

7. Космоснимки местности и материалы геоинформационных систем.

Объекты исследования. В качестве объектов исследования были подобраны насаждения древесно-кустарниковой растительности в сосняках, пройденных пожарами в Благовещенском участковом лесничестве, которое располагается в Благовещенском участковом лесничестве Вельского лесничества (в южной части Архангельской области), в Пермиловском участковом лесничестве Обозерского лесничества и Унском участковом лесничестве Северодвинского лесничества. Данные участки были выбраны для проведения исследований исходя из природно-климатических характеристик для определения динамики возникновения, частоты и интенсивности, а также площади прохождения лесных пожаров.

4. МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ И ХАРАКТЕРИСТИКА ОПЫТНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Математико-статистическую обработку полевых материалов и результатов исследования, полученных лабораторным путем, проводили по принятым в лесной таксации методикам (Гусев, 2002).

Пожары на исследуемых участках возникали в период с 2009 по 2014 год. На каждом исследуемом участке зафиксирован, согласно актов о лесных пожарах, устойчивый низовой пожар. В таблице 1 приведено распределение исследуемых участков по годам прохождения лесного пожара и затронутой им площади в Благовещенском участковом лесничестве Вельского лесничества.

Таблица 1 – Распределение насаждений по годам прохождения лесного пожара и охваченной им площади в Вельском лесничестве Благовещенском участковом лесничестве

№ участка	Год пожара	Площадь пожара, га
Горельник 1 (квартал 8, выдел 4)	2014 год	24,4
Горельник 2 (квартал 8, выдел 6)	2014 год	12,2
Горельник 3 (квартал 8, выдел 5)	2014 год	9,6
Горельник 4 (квартал 11, выдел 3)	2010 год	28,6
Горельник 5 (квартал 48, выдел 3)	2014 год	4,2
Горельник 6 (квартал 48, выдел 17)	2014 год	3,5
Горельник 7 (квартал 10, выдел 19)	2009 год	4,8

5. СОСТОЯНИЕ НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ СЕВЕРНОЙ И СРЕДНЕЙ ПОДЗОН ТАЙГИ, ПРОЙДЕННЫХ ЛЕСНЫМ ПОЖАРОМ

Пожароопасная обстановка в лесах возникает при сухой и жаркой погоде. Опасность нарастает с увеличением продолжительности периода с такими условиями погоды. Соответствующие метеорологические условия являются необходимыми, но не достаточными для возникновения лесного пожара.

Анализ динамики количества лесных пожаров по изучаемым районам, приведенный на рисунке 1, показывает, что неизменно наблюдается положительная динамика их снижения с 2016 по 2018 гг. Однако, стоит отметить, что Вельский район является самым пожароопасным, поскольку количество лесных пожаров по сравнению с другими изучаемыми районами больше на 45 %.

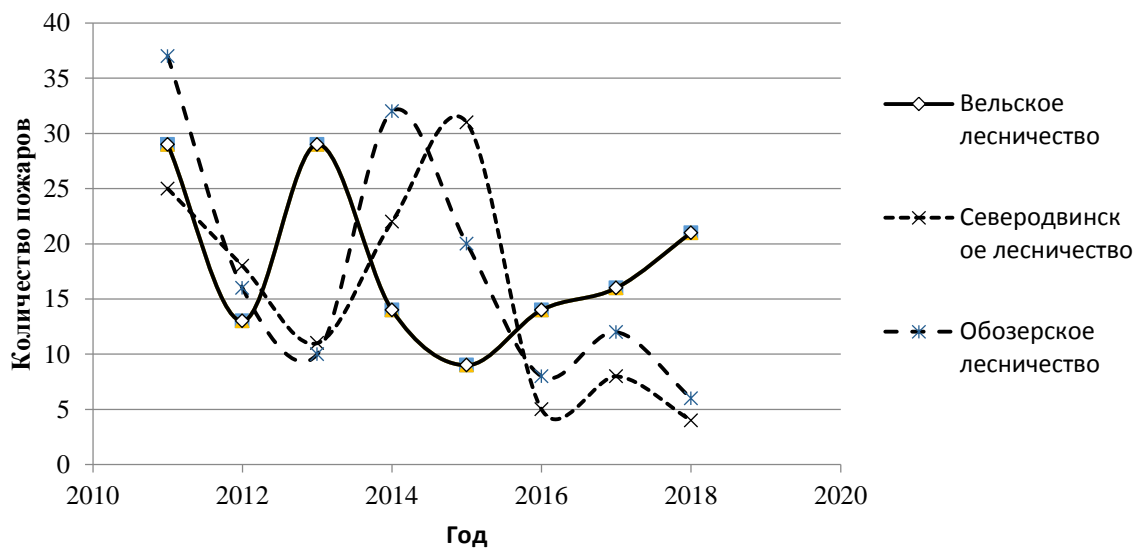


Рисунок 1 – Сравнительная динамика количества лесных пожаров по изучаемым районам (2010-2019 гг.)

Анализируя график, можно сказать, что основные пики по количеству лесных пожаров изучаемых лесничеств распределены неравномерно с разницей в 1-2 года, как отмечено выше, в связи со сложившимися в этот период погодными условиями.

Одной из особенностей лесов Севера является частая подверженность пожарам (Вакуров, 1975). По Архангельской области площадь лесных пожаров в год составляет от 480 га (2016 г.) до 79945 га (2011 г.). Повышенной горимостью отличаются сосновые насаждения по сравнению с насаждениями других формаций, произрастающих в аналогичных условиях (Залесов, 1998). Около 80 % всех пожаров (Вакуров, 1975; Софронов, Волокитина, 1996), по другим исследованиям 97 % (Думнов и др., 2005) относятся к низовым, после которых сосновые насаждения остаются жизнеспособными и могут иметь эксплуатационное значение (Мелехов, 1948; Вакуров, 1975; Каницкая, 2013; Нестеров 1954, Мелехов, 1978).

Анализируя таксационные показатели за 2018 гг. на участках, не пройденных лесным пожаром Пермиловского участкового лесничества установлено, что изменение запаса в среднем не превышает 40 % по сравнению с данными 2001 г. В насаждениях, пройденных пожаром, следует отметить, что наблюдается изменение по высоте и диаметру в среднем на 30 %, что свидетельствует о негативном пирогежном воздействии и снижении жизнеспособности деревьев.

Анализ насаждений по изучаемым районам проводился в насаждениях примерно равного возраста 100-110 лет на гари 8-10 летней давности. Отмечается преобладание чистых сосняков в послепожарных насаждениях и потери запаса в среднем на 50 %. Выявлено преобладание сухостойных деревьев и ветровала в 60 % изучаемых насаждений, отмечается значительные изменения лесной подстилки и понижение уровня дренирования почвы в результате пирогежного воздействия.

5.1 Оценка состояния подроста в насаждениях через 8 - 10 лет после лесного пожара. Характер воздействия пожаров на лесовозобновительные процессы связан с различными факторами, включая условия района исследований (Матвеев, 1992; Фурьев, 1996; Заблоцкий, Куприянов, Шершнева, 2002; Парамонов, Ишутин, 2004 и др.)

Отмечается, что изреживание древостоев огнем приводит к увеличению относительной освещенности под их пологом до уровня, достаточного для выживания подроста не только ели, но и сосны. При достаточно обильном урожае семян при благоприятных погодных условиях на прогоревшем субстрате отмечается успешное естественное возобновление хвойных пород через 2–5 лет после пожара (Чучалина, Санникова, 2012). В таблице 2 приведены данные обследования на участках после низовых пожаров в Вельском лесничестве.

Таблица 2 – Количество подроста на обследуемых участках до и после пожара в Благовещенского участкового лесничества Вельского лесничества

№ участка	До пожара		После пожара	
	состав	количество шт./га	состав	количество шт./га
1	10С	126	10С	245
2	10С	280	10С	345
3	10С	114	10С, ед. Е	337
4	7С2Б1Ос	408	10 С	242
5	6С4Е	306	10С	357
6	10С	120	10С	152
7	7С1Е2Б	336	10С, ед.Е	421

Из таблицы 3 следует, что наибольшее количество всходов и подроста представлено на 7 гари (квартал 10 выдел 19), а наименьшее на 6 гари (квартал 48 выдел 17). Возможно, это связано с тем, что полнота исследуемого участка 6 составила 0,79, что является самым большим показателем среди древостоев всех изучаемых участков. Наибольшее количество подроста сосны наблюдается при полноте 0,4–0,5. При сильном изреживании насаждений низовым пожаром под полог проникает больше солнечного света. Отмечается также повышенное

возобновление на минерализованной полосе, однако всходы имеют значительную деформацию. Процесс естественного возобновления на исследуемых участках через 8-10 лет после низового пожара еще не завершен. В результате обследования 21 участка гарей в Вельском, Северодвинском и Обозерском лесничествах в 2017 и 2018 гг. установлено, что процесс формирования подроста продолжается. Отмечается, что наряду с подростом сосны на гарях постепенно начинает появляться подрост ели и лиственницы. Со временем жизнеспособные экземпляры смогут постепенно образовать в древостое густой II ярус. Однако период в 8–10 лет для естественного успешного лесовозобновления недостаточно и потребуются ряд лесохозяйственных мероприятий.

5.2 Оценка успешности лесовосстановления дистанционными методами. Оценка успешности лесовосстановления на вырубках и гарях требует значительных затрат труда и времени на закладку пробных площадей. В качестве инструмента для установления изменений в покрытой лесом площади и анализа происходящего восстановления лесов на гарях использовали метод трансформации многоканального спутникового изображения Tasseled Cap. Результатами оценки успешности лесовосстановления являются пространственные слои, содержащие данные об изменении лесного покрова за период с 2001 по 2016 год (Карпов и др., 2019). На основе двух полученных пространственных слоев была подготовлена карта-схема перевода земель в лесопокрытую площадь на местах уменьшения лесопокрытой площади за период 2001–2016 гг.

Оценка успешности лесовосстановления основанная на существующем подходе требует закладки значительного количества пробных площадей. Число пробных площадей растёт пропорционально требованиям к точности данных и при увеличении исследуемой территории. Применение методов дистанционного зондирования земли позволит оптимизировать данную работу и значительно снизить затраты. В результате использования разработанной методики автоматической дешифровки спутниковых снимков установлено, что доля площадей, имеющих успешное восстановление равна 73 % и доля не восстановившихся площадей равна 27 % от общей площади уменьшения лесного покрова за 16 лет на территории Северодвинского лесничества.

6. ОЦЕНКА ГОРИМОСТИ И АНАЛИЗ ПОСЛЕПОЖАРНОГО ОТПАДА НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ, ПРОЙДЕННЫХ ЛЕСНЫМ ПОЖАРОМ

Потенциальная пожарная опасность и фактическая горимость лесов зависит от многих природных и антропогенных факторов: породный и возрастной состав насаждений, накопление сухостоя и захламленности, тип леса или тип вырубki, развитость транспортной

инфраструктуры, посещаемость лесов населением и др. (Мелехов, 1954, Коровин, Исаев, 1998, Фуряев, 1996).

Большая часть земель лесного фонда Вельского и Обозерского лесничеств относится к 4 и 5 классам пожарной опасности, соответственно, 37,4 % и 43,3 %, где пожары возможны в периоды длительных засух. Вельский район является более пожароопасным среди других районов из-за преобладания в летний период «сухих» гроз и, как следствие, лесные участки, в пожарно-зрелом состоянии, подвержены попаданию молниевых разрядов, что может привести к возникновению пожара (Иванов, Иванова, 2010; Тюкавина, Гудина, 2018).

Наибольшая частота пожаров отмечается в зеленых зонах, что в 8 – 72 раза больше по сравнению с другими категориями лесов. Средняя площадь одного пожара наибольшая в зеленой зоне (14,4 га), наименьшая в эксплуатационных и защитных лесах (3,75 га). Следовательно, наибольшая горимость отмечается в зеленой зоне, которая характеризуется высокой рекреационной нагрузкой (Мелехов, 1948).

6.1 Оценка отпада в послепожарных сосновых насаждениях. Северные сосняки подвержены воздействию низовых пожаров, которые обычно повреждают лишайниковую и зеленомошную группы типов леса, но при определенных погодных условиях – также долгомошную, и сфагновую, произрастающие на избыточно увлажненных или осушаемых участках (Войнов, Третьяков, 1988). Степень поврежденности древостоев зависит от силы пожара, типа леса, возраста и структуры насаждения (Мелехов, 1948; Войнов, Третьяков, 1988). Установлено, что в насаждениях, пройденных низовыми пожарами, отпад деревьев зависит от диаметра и высоты нагара (Войнов, Анишин, 1978; Валендик, 2002), интенсивности пожара и возраста древостоя (Романов, 1968; Савченко, 1982) и ряда других показателей. Величина отпада деревьев в сосновых насаждениях после низовых пожаров различной интенсивности проанализирована на примере Вельского лесничества Благовещенского участкового лесничества (средняя подзона тайги). Возраст исследуемых насаждений 80-110 лет, III и IV класс бонитета. При диаметре ствола 6-12 см и средней высоте нагара 0,1-0,5 м отпад по числу стволов в насаждениях сосны составил 70–75 %, при высоте нагара более 2,0 м погибает почти 100 % деревьев. Наиболее жизнеспособными являются древостои в возрасте 90–100 лет и средним диаметром более 20 см.

Множественный регрессионный анализ показывает, высокую зависимость послепожарного отпада деревьев по числу стволов в сосны от диаметра и высоты нагара на стволах. Коэффициент корреляции R равен 0,80; коэффициент детерминации D равен 0,64 %, уравнение множественной регрессии принимает вид: $Z = a_0 + a_1 \cdot X + a_2 \cdot X^2 + a_3 \cdot Y$, где: Z – послепожарный отпад, %; X – средний диаметр древостоя, см; Y – средняя высота

нагара на стволах. Характеристика регрессионных уравнений и константы уравнений говорят об их адекватности (таблица 3).

Таблица 3 – Характеристика регрессионных уравнений для Вельского лесничества Благовещенского участкового лесничества

Коэффициент корреляции 0,80				
Коэффициент детерминации 0,64%				
	a ₀	a ₁	a ₂	a ₃
Константы уравнения	26,42	-1,16	0,155	18,1
Стандартная ошибка	3,93	0,69	1,37	1,16
Критерий Стьюдента	6,72	-5,36	4,88	18,1

Послепожарный отпад в сосняках находится в непосредственной зависимости от глубины прогорания подстилки и органических горизонтов почвы, а также повреждения корневых систем деревьев. При давности пожара с 3-х до 8-ми лет процент отпада деревьев увеличился на 5 % в насаждении со средней высотой нагара 0,8 м и на 41 % - при высоте нагара 1,3 м.

Установлено, что при повреждении сосновых насаждений Вельского, Северодвинского и Обозерского лесничеств низовым устойчивым пожаром отпад тесно коррелирует с диаметром деревьев и высотой нагара на стволах ($R=0.8-0.93$) процесс дифференциации деревьев при повреждении их огнем также происходит быстро, как их усыхание и отпад происходят спустя 2–3 года после пожара при сильном пирогежном воздействии. Наибольший отпад наблюдается у деревьев диаметром 6 – 14 см при средней высоте нагара 0,6 – 1,5 м. Наименьшему послепожарному отпаду подвергнуты деревья диаметром свыше 20 см, это связано с большей толщиной коры в нижней части стволов сосны. Также значительно подвергается пирогежному воздействию подрост до 5 м, который, в следствии лесного пожара, полностью погибает. При диаметре деревьев 6 – 12 см и средней высоте нагара 1,6 – 2,0 м отпад по количеству стволов в насаждениях сосны составил 70-80 %.

7. АНАЛИЗ РОСТА НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ, ПРОЙДЕННЫХ ЛЕСНЫМ ПОЖАРОМ

В результате проведенных исследований на горельниках Вельского, Северодвинского, Обозерского лесничеств установлено, что в зависимости от состояния насаждения, почвенно-гидрологических условий и интенсивности низового пожара возможно как увеличение, так и снижение среднего диаметра и средней высоты, древостоя. При сохранении после пожара более 400 жизнеспособных деревьев возможно восстановление запаса и формирование на гари сомкнутого насаждения. В местах сильного огневого воздействия возможна полная гибель насаждения и формирование пирогежной редины.

Нельзя сделать единое заключение о благотворном или негативном пирогежном влиянии на сосновое насаждение, поскольку данный факт зависит от множества причин, таких как

погодные условия, условия произрастания, наличие отпада и многое другое. При интенсивном воздействии низового пожара запас насаждения уменьшается, что объясняется появлением сухостоя. Отпад может увеличиваться или уменьшаться за счет ряда условий, таких как влажность почвы, наличие или полное уничтожение органического горизонта почвы, наличие грунтовых вод, повреждение корневой системы, наличие ветровала и бурелома.

Исходя из вышеперечисленного, можно сделать вывод, что в одних случаях происходит разреживание насаждений и формируются более благоприятные условия, для роста сосны, так как отсутствуют конкуренты в виде ели и березы, реже осины. В других случаях пожар приводит к гибели насаждения и формированию редины, лесовосстановление на которой механизированным способом затруднено, а пути использования пирогенной древесины (отпада в виде сухостоя, бурелома и ветровала) в настоящее время недостаточно разработаны.

8. ОЦЕНКА ТЕПЛОТВОРНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОСТПИРОГЕННОЙ ДРЕВЕСИНЫ СОСНЫ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ

Исследования по оценке теплотворной способности послепожарной древесины проводились в Пермиловском, Унском и Обозерском участковых лесничествах Архангельской области с 2016-2018 гг., давность пожара на исследуемых участках составила от 3 до 8 лет. Теплотворную способность древесины сосны в абсолютно сухом состоянии определяли при помощи автоматизированного бомбового калориметра АБК-1В. В последнее время актуальна разработка технологий повышения эксплуатационной и энергетической эффективности древесного топлива посредством добавления технического гидролизного лигнина при изготовлении из древесных отходов топливных брикетов, что повышает их калорийность до 5640 ккал/кг (Орстик и др., 2008). Другой путь это предварительная термическая обработка его в инертной среде (Areate, 2000; Kiel, 2007; Uslu et al., 2008). Таким образом, отходы лесозаготовок, низкотоварная древесина получаемая на горях также могут составлять сырье для производства твердого биотоплива. Теплотворная способность постпирогенной древесины жизнеспособных деревьев сосны без сердцевинной гнили изменяется от 20600 Дж/г до 26000 Дж/г. Средние значение теплотворной способности постпирогенной древесины сосны превышает контроль на 658 – 1721 Дж/г соответственно на 3 – 8 % (таблица 4).

Таблица 4 - Теплотворная способность древесины сосны в сосняках брусничных после низового пожара

№ ПП	1	2	3	4	5	6
Ср. высота нагара, м	1,50	0,97	1,36	0,86	2,22	-
Теплотворная способность древесины сосны, Дж/г	21882 ±272,0	22367 ±326,2	22452 ±392,6	22280 ±294,4	21389 ±399,3	20731 ±107
Достоверность различия с контролем t при $t_{st}=2,1$	3,2	4,1	3,7	4,3	1,6	-

Различие средних значений теплоты сгорания древесины с пробных площадей с контролем значимо при высоте нагара ниже 1,5 м. В постпирогенных насаждениях ядровая

древесина сосны характеризуется большей теплотворной способностью по сравнению с заболонной. Различие значимо и составляет 1331 Дж/г. Давность прохождения насаждения пожаром до 6 лет не повлияла на теплотворную способность древесины сосны, но уже спустя 7 лет теплота сгорания древесины понизилась на 4 %.

Таким образом теплотворная способность древесины сосны постпирогенных насаждений изменяется от 20600 Дж/г до 26000 Дж/г. В постпирогенных насаждениях ядровая древесина сосны характеризуется значимо большей теплотворной способностью по сравнению с заболонной. Различие составляет 1331 Дж/г. У усохших после низового пожара деревьев сосны и у жизнеспособных, подверженных 1 – 2 стадии гниения, теплотворная способность древесины находится на уровне здоровых деревьев, однако заболонная древесина имеет пониженные значения.

9. ОЦЕНКА ПРЯМОГО УЩЕРБА НАСАЖДЕНИЙ СОСНЫ АРХАНГЕЛЬСКОЙ ОБЛАСТИ ПРОЙДЕННЫХ ЛЕСНЫМ ПОЖАРОМ

Комплексно оценить размер ущерба от лесных пожаров зачастую не представляется возможным, поскольку их последствия находят свое отражение в разных отраслях экономики, проявляются не только на пораженных территориях, но и за их пределами, даже спустя несколько лет (Жаринов, Голубева, 2017).

Для проведения исследования были выбраны горельники Благовещенского участкового лесничества, как наиболее характерные по видам воздействия огня на лес и более доступные, поскольку располагаются вдоль лесных автомобильных дорог.

Согласно проведенного исследования следует отметить, что снижение выхода деловой древесины после пожара составляет 37 – 40 % от первоначального (до пожара). Самый низкий процент выхода приведен на горельниках 2010 – 2011 года – 7 летней давностью пожара, поскольку отмечается преобладание сухостоя и частично ветровала. Отмечается также переход полуделовой древесины средним диаметром 12 – 16 см к категории дровянной спустя первые два года после пожара.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ ПО ОРГАНИЗАЦИИ И ВЕДЕНИЮ ХОЗЯЙСТВА В НАСАЖДЕНИЯХ СОСНЫ, ПРОЙДЕННЫХ ЛЕСНЫМИ ПОЖАРАМИ

Приведенные рекомендации в дальнейшем будут актуальны для органов управления лесного хозяйства, предприятий, осуществляющих лесопользование и органов управления ГПС МЧС России.

1. Особое внимание при осуществлении лесопожарных мероприятий рекомендуется уделять противопожарному обустройству лесных участков, в том числе используемых в рекреационных целях путем создания пожароустойчивых насаждений и опушек.

2. Необходимо разработать новые подходы к охране лесов и контролю возобновления лесов, к проведению удаленного мониторинга местности с помощью беспилотных летательных аппаратов, использования методов дистанционного зондирования земли и математической оценке возникновения возгорания исходя из природных и погодных условий.

3. Высота нагара на стволах деревьев не может быть использована для установления величины отпада при верховых, торфяных и устойчивых низовых лесных пожарах. Беглые низовые пожары с высотой нагара до 0,5 м не оказывают влияния на деревья сосны толще 12 см на высоте 1,3 м, уничтожая подрост и угнетенные тонкомерные деревья. Рекомендуется проведение ухода в таких насаждениях с целью уборки тонкомерного сухостоя.

4. Рекомендуется проводить санитарные рубки в первые два года после лесного пожара во избежание значительного послепожарного отпада. После устойчивого низового пожара отмечается значительный отпад деревьев и их дальнейшая гибель в первые годы после пожара при высоте нагара 2,0–2,5 и средним диаметром до 20 см. На участках, пройденных пожарами отмечается снижение товарности в среднем на 40 %. Отмечается также переход полуделовых стволов со средним диаметром 12–16 см в категорию дровяных спустя первые два года после пожара.

5. В постпирогенных насаждениях ядровая древесина сосны характеризуется значимо большей теплотворной способностью по сравнению с заболонной. Исходя из этого рекомендуется при степени повреждения менее 70 % использовать древесину на пиломатериалы и пеллеты, что позволит рационально использовать лесосырьевые ресурсы после проведения санитарных рубок в послепожарных насаждениях.

6. Рекомендуется проводить освидетельствование свежих пожарищ с целью определения величины участков леса, степени повреждения огнем, размера нанесенного и ожидаемого ущерба и назначения первоочередных лесохозяйственных мероприятий, направленных на ликвидацию отрицательных последствий пожара и предотвращение возможного увеличения ущерба.

7. При отборе деревьев в рубку рекомендуется учитывать высоту нагара и диаметра ствола, при которых может произойти усыхание деревьев. Во всех случаях при проведении выборочных и сплошных санитарных рубок, а также при разработке ветровальных горельников необходимо учитывать, что чем раньше после пожара проводят заготовку древесины, тем выше ее качество.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведя анализ состояния и роста насаждений сосны, пройденных лесным пожаром, следует сделать вывод, что в результате лесных пожаров на всех послепожарных участках произошли изменения таксационных показателей древостоев.

1. Установлено, что при повреждении сосновых насаждений низовым устойчивым пожаром отпад тесно коррелирует с диаметром деревьев и высотой нагара на стволах ($R=0.8-0.93$) процесс дифференциации деревьев при повреждении их огнем также происходит быстро, так как их усыхание и отпад при сильном пирогежном воздействии происходят спустя 2-3 года после пожара

2. Учет подростка показывает, что в сомкнутых сосняках жизнеспособного подростка не хватает для успешного естественного лесовозобновления, поэтому при выполнении рубок спелых и перестойных насаждений потребуются проведение мероприятий по искусственному лесовозобновлению.

3. В составе подростка отмечается наличие ели, что говорит о возможном формировании в будущем смешанных сосново-еловых насаждений. Процесс возобновления на гари происходит в течении более 10 лет и продолжается до 20–30 лет.

4. Исследование динамики насаждений, пройденных лесным пожаром, позволяют сделать следующие выводы:

- в зависимости от состояния насаждения и интенсивности низового пожара происходит увеличение или снижение среднего диаметра и средней высоты, древостоя;

- при сохранении после пожара более 400–900 жизнеспособных деревьев возможно восстановление запаса и формирование на гари сомкнутого насаждения;

- запасы в сохранившихся жизнеспособных насаждениях в целом остались на том же уровне, а по истечении 8-10 лет возросли;

- на отдельных участках огневое воздействие привело к полной гибели насаждения и формированию пирогежной редины.

5. При интенсивном воздействии низового пожара уменьшается в основном запас насаждения, что объясняется появлением сухостоя, на примере Обозерского лесничества и непрерывному послепожарному отпаду в первые годы после лесного пожара.

6. В послепожарных насаждениях в одних случаях происходит разреживание насаждений и формируются более благоприятные условия для роста сосны (отсутствие конкурентов в виде ели и березы, реже осины), лесовосстановление механизированным способом затруднено, а пути использования пирогежной древесины (отпада в виде сухостоя, бурелома и ветровала) в настоящее время не разработаны.

7. Использование послепожарной древесины в качестве биотоплива весьма актуально, как для современной биоэнергетики, так и в рамках проведения мероприятий по лесовосстановлению и лесозаготовке.

8. При оценке товарности послепожарных древостоев выявлено, что наиболее устойчивыми к переходу из полуделовой категории к дровяной при высоте нагара до 2,0–2,5 м являются деревья в возрасте 90–100 лет и диаметром более 20 см. Отмечается значительное влияние на процент выхода деловых сортиментов из послепожарной древесины при изменении условий места произрастания и высоте нагара более 0,7–0,9 м.

Публикации по теме диссертации

Публикации в рецензируемых научных журналах и изданиях, предусмотренных перечнем ВАК Минобрнауки РФ:

1. **Гудина, А. Г.** Анализ горимости лесов Вельского района архангельской области [Текст] / А. Г. Гудина, О. Н. Тюкавина // Ученые записки Петрозаводского государственного университета. – Петрозаводск, 2018. – № 8 (177). – С. 74–77.

2. Карпов А.А. Разработка методики для оценки успешности лесовосстановления дистанционными методами [Текст] / А.А. Карпов, Н.Р. Пирцхалава-Карпова, **А.Г. Гудина** // Лесотехнический журнал. – 2019. - №3. - С.85-91.

3. Тюкавина, О. Н. Теплотворная способность древесины сосны после низового пожара [Текст] / О. Н. Тюкавина, **А. Г. Гудина** // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2019. – Вып. 229. – С. 118–129.

Публикации в прочих изданиях:

4. **Гудина А.Г.** «Прогнозирование возникновения лесных пожаров в зависимости от погодных условий на территории Архангельской области» [Текст] // Сборник тезисов XXV Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» секция «География», с 9 по 13 апреля 2018 г. – Москва: МГУ имени М.В. Ломоносова, 2018.

5. **Гудина А.Г.** «Оценка экологического ущерба от лесного пожара на территории Вельского района Архангельской области» [Текст] // Труды шестой международной научно-практической конференции «Индикация состояния окружающей среды: теория, практика, образование». Географический факультет МПГУ 29 ноября – 1 декабря 2018 года: сборник статей. – М.: Буки-Веди.- С. 135–141.

6. **Гудина А.Г.** «Анализ применения технологии тушения лесных пожаров с применением температурно-активированной воды (ТАВ) на территории Архангельской области» [Текст] // Межвузовский сборник научных трудов «Экологические проблемы Арктики и Северных территорий»: сборник статей. – Архангельск: САФУ, 2017. – Вып.20. С. 237-242.