

На правах рукописи



ЛЫКОВ
Игорь Викторович

МЕРЫ БОРЬБЫ С КОРНЕВОЙ ГУБКой
(HETEROBASIDION ANNOSUM (FR.) BREF.)
В СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ
ВОРОНЕЖСКОЙ ОБЛАСТИ

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

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Воронеж – 2025

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова»

Научный руководитель: **Матвеев Сергей Михайлович**
доктор биологических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Коптев Сергей Викторович**
доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесоводства и лесоустройства ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова»

Мелькумов Гавриил Михайлович
кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры ботаники и микологии медико-биологического факультета ФГБОУ ВО «Воронежский государственный университет»

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»

Защита диссертации состоится «26» ноября 2025 г. в 10⁰⁰ часов на заседании совета по защите диссертаций 24.2.285.02 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» по адресу: 394087, ул. Тимирязева, 8, г. Воронеж, Воронежская область, Российская Федерация, тел. +7(473)253-78-47, e-mail: vglta@vglta.vrn.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» и на сайтах организации <https://vgltu.ru> и ВАК Министерства науки и высшего образования РФ <https://vak.minobrnauki.gov.ru>

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, кандидат биологических наук, доцент

Тихонова Елена Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Интенсивная дифференциация деревьев по категориям состояния, несвойственная течению естественного изреживания древостоя, обусловлена неблагоприятными факторами среды. Среди биотических факторов особо выделяется корневая губка (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.), провоцирующая развитие корневой гнили и массовую гибель деревьев.

В настоящее время известны различные меры борьбы с корневой губкой: уборка подстилки, удаление поражённой древесины, обработка пней, введение лиственных пород, применение биологических антагонистов. Однако эти методы недостаточно эффективны, трудозатратны или ограничены условиями среды. Наиболее распространён метод санитарных рубок. Но данный метод оказывает временный эффект, при котором происходит некоторое снижение тяжести заражения, сохраняя при этом патоген в активном состоянии.

В последние годы значительно возросла потребность в разработке и внедрении в лесное хозяйство новых эффективных и применимых на практике лесоводственных и биологических мер, направленных на борьбу с корневой губкой.

Цель исследований. Цель исследований – экспериментальная апробация эффективности лесоводственных (сгребание лесной подстилки) и биологических (на основе лютика едкого) методов борьбы с корневой губкой и разработка рекомендаций по оптимизации мер борьбы с патогеном в сосновых насаждениях Воронежской области.

Задачи исследований:

1. Провести анализ данных о распространении заражения корневой губкой в сосновых насаждениях Воронежской области;
2. Обследовать очаги заражения сосны корневой губкой в Воронежской области для выявления наличия (или отсутствия) грибов-антагонистов корневой губки в естественных условиях очагов инфекции;
3. Провести экспериментальную оценку эффективности применения опыта С.Д. Казадаева по борьбе с корневой губкой в сосновых насаждениях сгребанием лесной подстилки;
4. Провести эксперименты по изучению условий культивирования корневой губки;
5. Изучить возможность и эффективность применения биологического метода борьбы с корневой губкой, основанного на использовании лютика едкого;
6. По результатам экспериментальных исследований разработать рекомендации для оптимизации мер борьбы с корневой губкой в регионе исследований.

Объект исследований – сосновые насаждения Воронежской области подверженные воздействию заражения грибом корневая губка (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.).

Предмет исследований – лесоводственный опыт борьбы с корневой губкой (сгребание лесной подстилки) в сосновых насаждениях; антифунгальные свойства лютика едкого (*Ranunculus acris* L.), как мера борьбы с корневой губкой в сосновых насаждениях.

Научная новизна исследований. Проведена оценка распространения корневой губки в сосняках Воронежской области. Через 65 лет возобновлён опыт С.Д. Казадаева (сгребание лесной подстилки) и проведена оценка эффективности опыта с точки зрения изменения санитарного состояния заражённого насаждения. Впервые разработана база данных «Коллекция плодовых тел и мицелия грибов сапротрофов и некротрофов в сосновых насаждениях г. Воронежа и Воронежской области». Установлено отсутствие грибов-антагонистов в очагах корневой губки Воронежской области. Впервые в Воронежской области проведены лабораторные исследования морфологии мицелия и температурного режима культивирования корневой губки, её воздействия на проращивание семян сосны обыкновенной. Оценён антифунгальный эффект лютика едкого, относительно изучаемого патогена. На основе лютика едкого получен и впервые апробирован растительный экстракт – кандидат в биопрепараты, способный ингибировать рост мицелия корневой губки.

Теоретическая и практическая значимость. Результаты исследований дополняют и расширяют имеющиеся данные о биологии корневой губки, её развитии и распространении в сосняках, а также предлагают научно обоснованные комплексные меры борьбы с патогеном. Изученный и апробированный лесоводственный метод борьбы с корневой губкой – сгребание лесной подстилки – позволит снизить темпы деградации сосняков, поражённых заболеванием. Применение экстракта лютика едкого, за счёт антифунгальных свойств, позволит снизить патогенность корневой губки в обработанных насаждениях. Растительный экстракт лютика едкого предполагается использовать как для предварительной обработки семян, так и (после проведения натуральных экспериментов и производственных опытов) для обработки заражённых насаждений сосны, в т.ч. при проведении в них хозяйственных мероприятий (рубок у хода и санитарных рубок).

Методология и методы исследований. Методологической основой исследований послужили результаты экспериментов и теоретических обобщений, выполненных ранее учеными в области борьбы с корневой губкой.

При решении поставленных задач применялись методы пробных площадей и лабораторных экспериментов. Достоверность результатов исследований определялась с использованием стандартных статистических программ.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту:

1. Анализ данных о распространении корневой губки в Воронежской области показал, что площадь заражённых участков превышает 16 тыс. га (19% от площади сосняков региона), что свидетельствует о недостаточной эффективности действующих мер борьбы с заболеванием;

2. Обследование сосняков зараженных корневой губкой выявило отсутствие грибов-антагонистов, способствующих сдерживанию развития патогена;

3. Апробация метода Казадаева С.Д. по сгребанию лесной подстилки в валики по междурядьям лесных культур сосны показала его эффективность: ухудшение санитарного состояния и снижение ассимиляционного потенциала CO_2 в опытном насаждении имеют меньшую интенсивность, чем в контрольном почти в два раза;

4. Лютик едкий обладает ярко выраженным ингибирующим воздействием, относительно развития мицелия корневой губки. Растительный экстракт, полученный на основе лютика едкого, оказывает выраженный антифунгальный эффект на рост мицелия. При 8 и 16%-й концентрациях экстракта наблюдается 100%-е угнетение развития патогена;

5. При лабораторном проращивании семян сосны обыкновенной предварительная обработка экстрактом оказывает положительное воздействие на их всхожесть и прорастание. При концентрации экстракта 16% семена обладают лучшими показателями всхожести: 57,3% проросших в опыте против 48% в контроле.

Личный вклад автора. Автором, при поддержке научного руководителя, сформулированы цель и задачи исследований, выполнен подбор методик. Автор лично провел полевые и лабораторные эксперименты, обработал полученные данные, проанализировал результаты и сформулировал основные выводы.

Апробация результатов исследований. Основные результаты исследований докладывались и обсуждались на конференциях различного уровня: ежегодные научно-исследовательские сессии студентов, аспирантов и молодых учёных ВГЛТУ (2020-2024 гг.); Международная научно-практическая конференция, посвященная 50-летию со дня рождения В. Н. Попова (Воронеж, 2024); Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием, посвященная 100-летию образования Якутской АССР и 85-летию Первого президента РС(Я) М. Е. Николаева (Николаевские чтения) (Якутск, 2022); II Международная научно-техническая юбилейная конференция «Лесные экосистемы в условиях меняющегося климата: проблемы и перспективы»,

посвященная 110-летию кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства и 95-летию ВГЛТУ (Воронеж, 2025).

Публикации. По результатам диссертационного исследования опубликовано 5 научных работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых журналах списка ВАК, 1 база данных. Кроме того, принято к печати: 1 статья в рецензируемых журналах списка ВАК и 2 статьи РИНЦ.

Структура и объем диссертации. Диссертация изложена на 184 страницах, состоит из введения, шести глав, заключения, рекомендаций, списка использованных источников (120 наименований, в том числе 39 на иностранных языках), приложений. Текст работы включает 37 таблиц и 57 рисунков.

Благодарности. Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю проф., д.б.н. С.М. Матвееву, а также д.с.-х.н. А.А. Поповой и коллективу лаборатории анализа полимеразной цепной реакции ВГЛТУ имени Г.Ф. Морозова.

Работа выполнена при поддержке гранта Российского научного фонда № 24-26-20120, <https://rscf.ru/project/24-26-20120/>.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. Состояние проблемы исследований

О проблеме возникновения корневых гнилей у хвойных насаждений, вызванных грибом корневая губка *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. (*H. annosum*), стало известно еще в конце XIX века. Исследования природы заболевания и причин наибольшей активности гриба в искусственных древостоях показали, что с одной стороны – патоген участвует в единой эволюционной стратегии биогеоценоза, т.е. в формировании и поддержании устойчивых структур древостоев (Шубин, 1982; Стороженко, 1992, 2018; Высоцкий, Корчагин, 2018; Мелькумов, 2021, 2022), а с другой – повышенная подверженность лесных культур сосны заболеванию объясняется повреждениями и деформациями корневых систем растений, возникающими во время посадки саженцев (Кузнецов, 2005).

Предлагались различные лесоводственные, химические и биологические методы борьбы с патогеном: санитарно-хозяйственные мероприятия (Казадаев, 1957; Барснева, 1992; Стороженко, 1992, 2007, 2018; Артюховский, 1998; Кобец, 2001; Кузнецов, 2005 и др.); использовании антисептиков и фунгицидов, дезинфекции пней и ран деревьев (Гундаева, 1981; Василюскас, 1989; Стороженко, 1992, 2007, 2018; Коптев, 2015; и др.); использование биоагентов, подавляющих рост патогена (Полещук, 1997; Федоров, 2007; Звягинцев, 2015; Романовская, 2017 и др.) генетико-селекционные методы, (Соколова, 1988; Авров, 2000; Высоцкий, 2010; Стороженко, 2018; Тимофеев 2021 и др.).

В настоящее время основным методом борьбы с корневой губкой, применяемым повсеместно, являются санитарные рубки. Но, по мнению ряда ученых (Харченко, 2000, 2010; Федоров, 2007; Звягинцев, 2015 и др.), такие мероприятия недостаточно эффективны и способны лишь временно сдерживать прогрессирование заболевания.

2. Природно-климатические условия региона исследований

Воронежская область расположена в центре Восточно-Европейской равнины. Площадь области составляет 52,2 тыс. км². По зональности ландшафтов Воронежская область делится на лесостепную и степную зоны. Для области характерен умеренно-континентальный климат. В южных районах Воронежской области часто наблюдаются засухи и суховеи. В среднем по области из трёх летних месяцев один засушливый.

3. Объекты методы и объем исследований

При информационной поддержке сотрудников УОЛ ВГЛТУ, ЦЗЛ Воронежской области, Министерства лесного хозяйства Воронежской области, проведены рекогносцировочные лесопатологические обследования, анализ эффективности современных методов борьбы с корневой губкой в сосновых насаждениях. Площадь сплошных санитарных рубок с 2022 года увеличилась более чем в два раза (по состоянию на 2024 год). Для экспериментального подтверждения аналитических данных о распространении патогенна, в очагах заражения заложено по 20 круговых площадок (площадью 500 м²) в Богучарском и Бобровском лесничествах.

На территории Пригородного лесничества (УОЛ ВГЛТУ), в Левобережном участковом лесничестве, для эксперимента методом сгребания лесной подстилки заложено 2 постоянные пробные площади (ПП №1 и №2) в квартале 79, выдела 3 и 17. Каждая ПП разбита на 2 секции площадью по 0,25 га (50х50 м): опытная и контрольная, разделённые буферными зонами площадью 0,05 га. (50х10 м). На опытной секции ПП №1 проведено сгребание лесной подстилки в валики по междурядьям культур (метод Казадаева). На опытной секции ПП №2 проведен опыт по модифицированному методу: сгребание лесной подстилки вокруг каждого дерева в древостое (радиус минимум 0,5 метра).

С целью выявления наличия или отсутствия грибов-антагонистов корневой губки в естественных условиях очагов заражения осуществлен сбор мицелия грибов сапро- и некротрофов в весенне-летний период маршрутным методом. После проведения процесса маркировки и систематизации образцов проведено их морфологическое описание и микробиологическая индикация.

Найденные плодовые тела корневой губки подверглись ряду лабораторных исследований, включающих выведение чистой культуры, изучение реакции патогена на воздействие токсичных веществ лютика едкого (*Ranunculus acris*).

Для определения радиальной скорости роста различных штаммов грибов *H. annosum* проводился эксперимент на плотной питательной среде, мальт-пептонном агаре, при температуре от 20 до 26°C в течение недельного срока. На 7-е сутки измерялись диаметры выросшего мицелия. Вычисление радиальной скорости проводилось по формуле: $Kr = (r - r_0) / (t - t_0)$, где: k – радиальная скорость роста; r_0 – радиус колоний в начальный момент времени t_0 ; r – радиус колоний в момент времени t .

После сбора лютика едкого, осуществлен опыт по изучению его воздействия на развитие мицелия корневой губки – 3,8 г, 5,5 г, 10 и 15 г измельченных вегетативных частей растения на 250 мл питательной среды, на которую инокулировались чистые культуры патогена. После установления ингибирующих свойств лютика едкого получен его растительный экстракт на водной основе. Для определения антифунгальных свойств экстракта относительно корневой губки проведен опыт по инокуляции патогенов на питательную среду, в состав которой входит полученный раствор – в полученную среду добавлялся экстракт лютика едкого в концентрациях 2, 4, 8 и 16%. Среда, в которую экстракт не добавлялся, выступила в качестве контроля.

Для оценки воздействия экстракта на всхожесть семян сосны обыкновенной проведен опыт по проращиванию семян, обработанных экстрактом, на фильтровальной бумаге. Семена сосны, перед закладкой, обрабатывались экстрактом лютика едкого в концентрациях: 2, 4, 8 и 16%. В качестве контрольных использовались семена, замоченные в дистиллированной воде без добавления экстракта. Для проведения опыта использовалась модифицированная методика, соответствующая ГОСТ 12038 – 84.

При оценке фитопатогенности корневой губки и эффективности предварительной обработки экстрактом использовались семена сосны обыкновенной предварительно подверженные поверхностной стерилизации. Семена раскладывались в чашки Петри с десятисуточной культурой *H. annosum* F-471, выращенной на мальт-пептонном агаре. В качестве опытных выступили образцы с семенами, обработанными перед инокуляцией патогеном 16%-ом раствором экстракта лютика едкого и образцы, не обработанные экстрактом. В качестве контроля выступили образцы со стерильными необработанными экстрактом семенами, помещенными в питательную среду без патогена.

Для оценки достоверности различий экспериментальных результатов по критерию Стьюдента (95%) использовалась программа STATISTICA.

4. Распространение очагов корневой губки в Воронежской области

4.1 Степень зараженности сосновых насаждений корневой губкой в Воронежской области

Из тридцати двух районов Воронежской области (включая городской округ Воронеж) шестнадцать районов подвержены заражению (рисунок 1).

Зараженность территории (га.):

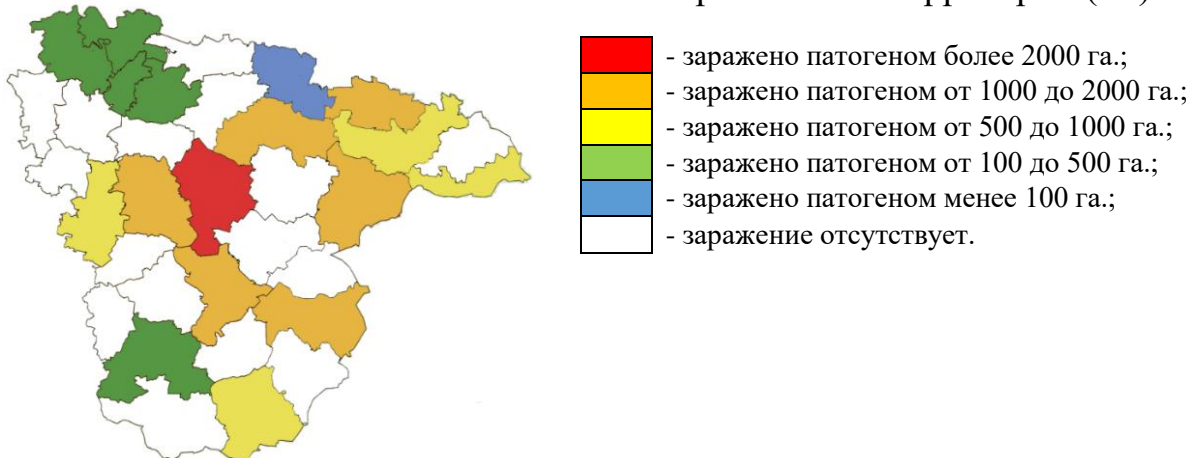


Рисунок 1 – Заражение корневой губкой насаждений Воронежской области

Общая площадь заражения корневой губкой превышает 16 тысяч га. Центральная часть области наиболее подвержена активному действию корневой губки. Очевидно, причиной является сосредоточение здесь наиболее крупных массивов сосны искусственного происхождения. Наименьшая площадь заражения приходится на Эртильский район – не превышает 100 га.

Согласно данным обследования, в Бобровском лесничестве запас здоровых деревьев не превышает 30%. Порядка 50% древостоев на обследованных территориях находится в ослабленном, сильноослабленном и усыхающем состоянии. На долю погибших приходится около 22%. Средневзвешенная категория состояния 2,75. Площадь заражения патогеном в Бобровском значительно выше, чем в Богучарском, но тяжесть заболевания в Богучарском лесничестве выше: средневзвешенная категория состояния в Богучарском лесничестве варьирует от 2,5 до 3,7 (таблица 1).

4.2 Распространение корневой губки в насаждениях сосны обыкновенной с различными лесоводственными характеристиками (на примере УОЛ ВГЛТУ)

В ходе обследования сосняков Пригородного лесничества установлено, что размер заражённой территории составляет 125,1 га. Большая часть насаждений (98% от площади сосняков лесничества), имеющих признаки заражения корневой губкой находится в свежих борах (А₂) и свежих суборах

(В₂). В сухих борах площадь заражения не превышает 1,5%. Площадь погибших насаждений не превышает 0,5%.

Таблица 1 – Распределение запаса древостоев категориям состояния, %

Категория состояния № кв. / выдела	1	2	3	4	5	Средневзвешенная категория состояния	Общий запас (в т.ч. погибшие) м ³ /га (100 %)
Бобровское лесничество, Бобровское участковое лесничество							
14 / 5	30,5	23,5	16,4	7,8	21,8	2,7	156
14 / 28	24,7	22,8	18,4	12	22,1	2,8	110
Богучарское лесничество, Подколodновское участковое лесничество							
24 / 42	36,5	23,6	10	9,4	20,5	2,5	216
26 / 2	4,5	19	17,2	17,8	41,5	3,7	205

Площадь насаждений с признаками заражения повышается с увеличением полноты до 0,6. При повышении полноты до 0,7 и выше наблюдается снижение доли насаждений с признаками заражения, но площадь зараженных насаждений в высокополнотных больше, чем в низкополнотных (рисунок 2).

Резкое увеличение заражения при полноте 0,6 можно связать со снижением бокового освещения и усилением конкуренции между деревьями. Кроме того, значительная часть площади с полнотой 0,6 входит в зону с высокой рекреационной нагрузкой, вероятно данный фактор послужил причиной резкого увеличения площади с признаками заражения корневой губкой.

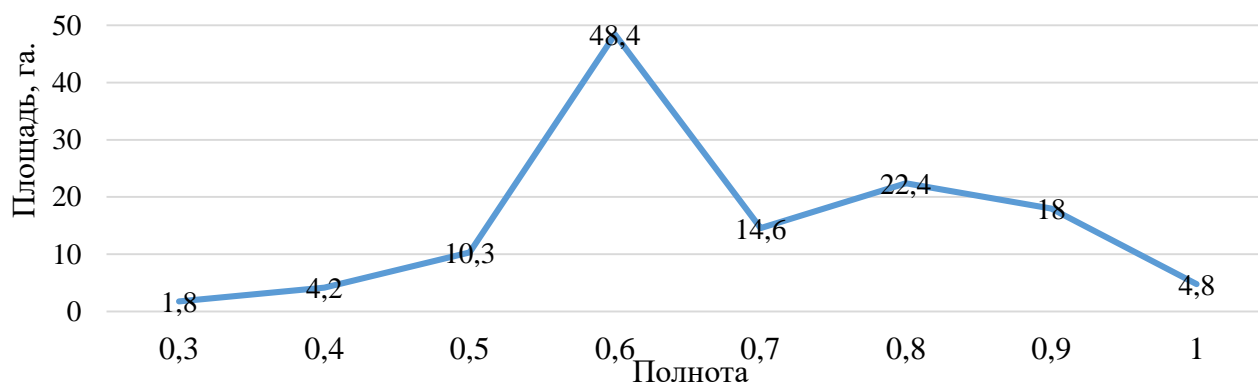


Рисунок 2 – Изменение площади с признаками заражения по полнотам

На III и IV классы возраста приходится наибольшая зараженная площадь, составляющая 112,6 га (90% обследованной площади). Многие учёные-лесоводы сходятся во мнении, что наибольшая активность корневой губки проявляется именно в этих классах возраста, хотя патоген нередко повреждает и 3-5-летние растения в культурах. При этом признаки заболевания не проявляются в течение

длительного времени. Около 88% (110,8 гектар) площадей, пострадавших от патогена, заняты продуктивными насаждениями IA, I и II классов бонитета. Насаждения III класса бонитета занимают площадь 13,7 гектар, т.е. около 11% от площади поражения. Можно сделать вывод, что более благоприятные условия оказывают положительное воздействие не только на состояние насаждения, но и на повышение активности корневой губки. Следует также отметить, что сосняки в УОЛ ВГЛТУ в целом растут преимущественно по I-II бонитету, а древостои III бонитета и ниже встречаются редко.

5. Лесоводственный метод борьбы с корневой губкой, основанный на сгребании лесной подстилки

5.1 Эффективность воздействия сгребания лесной подстилки в валики по междурядьям на степень развития корневой губки в очаге заражения

Обследовано 2 секции: А (опытная) и Б (контрольная) на III в очаге заражения 48-летнего насаждения сосны (79 квартал, 17 выдел) до и после проведения эксперимента (таблица 2). Проведённый анализ показал, что скорость изменения санитарного состояния на опытной секции ниже, чем на контрольной. Интенсивность гибели усыхающих деревьев на контрольной секции выше, чем на опытной почти в 2 раза – для контрольной секции запас 5 категории санитарного состояния увеличился на 2,81%, а на опытной на 1,53%.

Изменения запаса по категориям санитарного состояния для секции А недостоверны, для секции Б – достоверны.

Таблица 2 – Изменение количества деревьев и запаса по категориям состояния до и после проведения опыта в секциях А и Б в переводе на 1 га.

КСС Показатель	1	2	3	4	5	Всего
Секция А до опыта						
Запас, м ³	34	133	116	57	12	352
%	9,53	37,87	32,83	16,27	3,5	100
Секция А после опыта						
Запас, м ³	29	137	117	51	18	352
%	8,34	38,77	33,38	14,48	5,03	100
Секция Б до опыта						
Запас, м ³	22	110	103	19	16	270
%	8,27	40,69	37,94	7,01	6,09	100
Секция Б после опыта						
Запас, м ³	18	112	100	16	24	270
%	6,64	41,39	37,15	5,92	8,9	100

Для количественной оценки значимости положительного эффекта применяемых мер борьбы с корневой губкой на опытном объекте показан средообразующий эффект сохранённых деревьев. С этой целью проведён расчёт изменения поглощения CO_2 насаждениями. Рассчитан ассимиляционный потенциал по упрощенной формуле: $\text{АП} = M_{\text{общ}} \times V_{\text{хв}} \times 0,5$ Где: $M_{\text{общ}}$ – общий запас живой древесины породы, $V_{\text{хв}}$ – объём поглощения CO_2 породой, кг/м^3 в год – для сосны (750 кг/м^3), $0,5$ – коэффициент поглощения CO_2 хвойными породами. Для секции А до опыта $\text{АП} = 340 \times 750 \times 0,5 = 127500 \text{ кг/в год}$ или $127,5 \text{ т/год}$. Для секции А после опыта $\text{АП} = 334 \times 750 \times 0,5 = 125250 \text{ кг/год}$ или $125,25 \text{ т/год}$. Ассимиляционный потенциал снизился на $2,25 \text{ т/год}$, т.е. АП снизился на $1,76 \%$. Для секции Б до опыта $\text{АП} = 254 \times 750 \times 0,5 = 95250 \text{ кг/год}$ или $95,25 \text{ т/год}$. Для секции Б после опыта $\text{АП} = 246 \times 750 \times 0,5 = 92250 \text{ кг/в год}$ или $92,25 \text{ т/год}$. Ассимиляционный потенциал снизился на 3 т/год , т.е. АП снизился на $3,15 \%$. Эффективность данного метода заключается в том, что сгребание подстилки в валки по междурядьям нарушает условия, необходимые для первоначального заражения сосны корневой губкой и её дальнейшего развития. Недостатки применения данного метода – трудоемкость и необходимость периодического подгребания лесной подстилки (раз в два года минимум ввиду быстрого образования нового слоя подстилки).

5.2 Эффективность сгребания лесной подстилки в прикорневой зоне на степень развития корневой губки в очаге заражения

Обследовано 2 секции: А (опытная) и Б (контрольная) на ПП в очаге заражения 66-летнего насаждения сосны (79 квартал, 3 выдел) до и после проведения эксперимента (таблица 3).

Оценка изменений санитарного состояния деревьев на опытной и контрольной секциях показала низкую эффективность метода сгребания лесной подстилки в прикорневой зоне. Практически одинаково активное снижение санитарного состояния насаждения наблюдается как на опытной секции, так и на контрольной. Снижение ассимиляционного потенциала CO_2 , в опытной и в контрольной секциях происходит с одинаковой интенсивностью. Для секции А до опыта $\text{АП} = 141,38 \text{ т/год}$, после опыта – $136,5 \text{ т/год}$. АП снизился на $4,88 \text{ т/год}$, т.е. на $3,45 \%$. Для секции Б до опыта $\text{АП} = 106,5 \text{ т/год}$, после опыта – $102,8 \text{ т/год}$. АП снизился на $3,7 \text{ т/год}$, т.е. на $3,47 \%$.

Наблюдается и частично обратный эффект данного метода, что проявляется в более активном снижении доли запаса деревьев 1 категории санитарного состояния. Вероятно, выявленный эффект связан с тем, что частичное сгребание лесной подстилки не нарушает среду обитания корневой губки, а наоборот обогащает её кислородом, стимулируя повышенную активность патогена.

Использование метода сгребания лесной подстилки в прикорневой зоне нецелесообразно.

Таблица 3 – Изменение количества деревьев и запаса по категориям состояния до и после проведения опыта в секциях А и Б в переводе на 1 га.

КСС \ Показатель	1	2	3	4	5	Всего
Секция А до опыта						
Запас, м ³	63	169	113	32	11	388
%	16,2	43,6	29,2	8,2	2,8	100
Секция А после опыта						
Запас, м ³	58	172	106	28	24	388
%	14,9	44,4	27,5	7,3	6,1	100
Секция Б до опыта						
Запас, м ³	63	126	72	23	17	301
%	20,9	42	23,9	7,6	5,6	100
Секция Б после опыта						
Запас, м ³	62	117	68	27	27	301
%	20,7	38,9	22,6	8,9	8,9	100

6. Биолого-химический метод борьбы с корневой губкой

6.1 Результаты сбора сапро- и некротрофов в очагах заражения и идентификации собранных образцов методом баркодинга

В результате сбора сапро- и некротрофов в очагах заражения корневой губкой с исследуемых территорий собрано 55 образцов. Из них идентифицировано 19 образцов, из которых определено 13 отдельных видов. У идентифицированных видов описаны эколого-биологические свойства (таблица 4). Установлено, что в очагах заражения отсутствуют грибы-антагонисты корневой губки, что способствует её более активному развитию и распространению. Составлен систематизированный список плодовых тел и мицелия грибов, на основе которого создана и опубликована база данных «Коллекция плодовых тел и мицелия грибов сапротрофов и некротрофов в сосновых насаждениях г. Воронежа и Воронежской области».

В Воронежской области впервые зафиксирован вид (*Sistotremastrum guttuliferum*), для которого считался типичным местом обитания Макаронезийский регион.

6.2 Воздействие вегетативных частей лютика едкого на развитие корневой губки в лабораторных условиях

После получения чистой культуры корневой губки проведен эксперимент по изучению воздействия растительных частей лютика едкого на развитие мицелия корневой губки (таблица 4).

Активность корневой губки в питательной среде с внесением лютика едкого имеет признаки заметного снижения. Лучшими данными обладают образцы с 5,5; 10 и 15 г лютика на 250 мл питательной среды. Образцы с 3,8 г лютика оказались непригодными.

Таблица 4 – Средние значения диаметра колоний роста возбудителя корневой губки на среде с лютиком, мм

Концентрация лютика в среде \ День опыта	5 дней	7 дней	10 дней
3,8 г лютика/250 мл	36,0±3,1	64,0±3,5	75,3±2,3
5, 5 г лютика/250 мл	29,7±2,4	57,7±3,4	65,0±2,6
10 г лютика/250 мл	21,3±2,0	45,3±2,8	53,7±2,9
15 г лютика/250 мл	20,0±2,9	37,3±3,7	44,3±3,0
Контроль	37,7±2,8	65,3±2,4	77,3±3,2

На 5-й день исследований активность мицелия в контроле идентична активности с добавлением 3,8 г. лютика. Самыми высокими показателями ингибирования роста мицелия обладает концентрация 15 г. лютика/250 мл. питательной среды – на 10-й день наблюдений отмечается заметное снижение роста мицелия. Полученные данные говорят об эффективности воздействия лютика едкого на интенсивность развития мицелия корневой губки.

6.3 Получение растительного экстракта лютика едкого и оценка его антифунгального эффекта относительно роста мицелия

После получения водного экстракта лютика едкого проведено исследование его воздействия на активность корневой губки в лабораторных условиях. Полученный экстракт внесен в состав питательной среды в четырёх концентрациях – 2, 4, 8 и 16% (рисунок 3).

Наблюдается прямая зависимость угнетения роста мицелия и концентрации экстракта в питательной среде: при 2%-ной концентрации активность патогена снижалась почти на 50%, при 4% – на 88%, при 8%-й и 16%-й концентрациях наблюдается 100%-е подавление роста мицелия корневой губки. Экстракт термостабилен: после проведения автоклавирования при температуре 121°C ингибирующие свойства остаются на прежнем уровне.

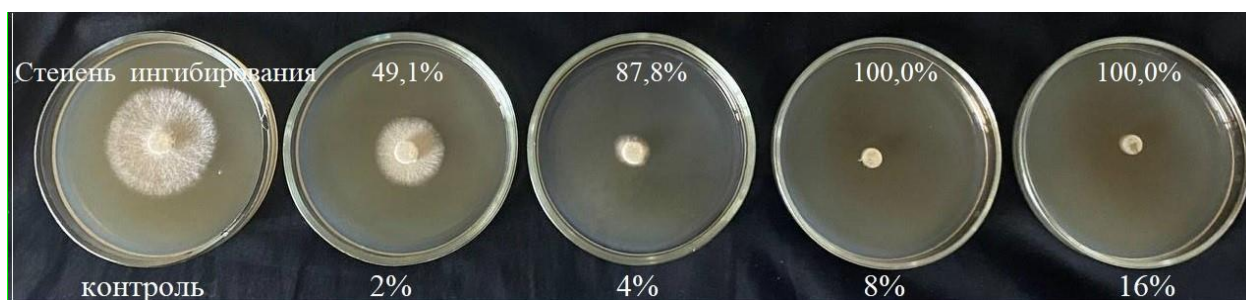


Рисунок 3 – Степень ингибирования развития мицелия штамма *H. annosum* F- 471 на средах с экстрактом лютика едкого на 7-е сутки наблюдений

6.4 Воздействие экстракта лютика едкого на развитие семян сосны обыкновенной в лабораторных условиях

При изучении воздействия различных концентраций экстракта на всхожесть семян установлена закономерность: низкие концентрации экстракта способны снизить всхожесть, тогда как высокие оказывают стимулирующее воздействие на прорастание семян. Снижение всхожести наблюдается при повышении концентрации экстракта с 2% до 8%. Воздействие экстракта на изменение всхожести имеет дозозависимый характер, но при повышении концентрации до 16% происходит резкое увеличение показателей всхожести. Если при 8%-й концентрации экстракта всхожесть семян составляла всего 25%, то при повышении концентрации до 16% всхожесть увеличивается до 57,3%, (то есть более чем в 2 раза), а относительно контроля превышение составляет 9%. Данный эффект можно объяснить следующим: во время наблюдений замечено, что на контрольных образцах и образцах с концентрациями экстракта от 2% до 8% (включительно) наблюдались следы грибкового поражения, а образцы с 16%-й концентрацией оказались полностью чистыми. Вероятно, это связано более высокой антифунгальной активностью 16%-й концентрации.

Полученные результаты опыта свидетельствуют об отсутствии эффекта угнетения роста корней и стеблей экстрактом концентрациями ниже 16%. При оценке воздействия экстракта на рост корней наблюдается стимуляция роста и при 16%, тогда как при превышении 8%-ной концентрации у стеблей наблюдается снижение прироста (рисунок 4). И хотя образцы с концентрацией 16% имели самые низкие показатели размеров стеблей (меньше контрольных на 3,37 мм.), проростки, по сравнению с контролем, имели более здоровый внешний вид и обладали лучшими показателями фитомассы.

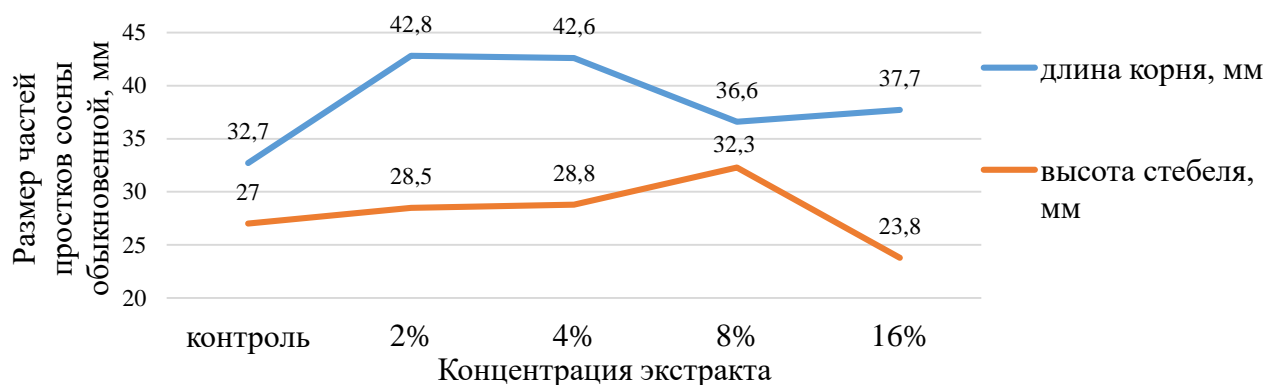


Рисунок 4 – Интенсивность развития корня и побега в зависимости от концентрации экстракта

Изменение фитомассы проростков также имеет дозозависимый характер. Зависимость имеет параболическую форму – при повышении концентрации экстракта до 4% происходит постепенное уменьшение фитомассы с 5,03 гр. в контроле до 3,7 гр., с повышением концентрации экстракта до 8% и 16% происходит плавное повышение фитомассы до 3,9 гр. и 5 гр. Вероятно, активное накопление общей фитомассы при высокой концентрации экстракта обусловлено адаптационными механизмами растения, направленными на преодоление стрессового воздействия и повышение устойчивости.

6.5 Культивирование корневой губки в лабораторных условиях

При изучении условий культивирования корневой губки в лабораторных условиях использовалось три различных штамма *H. annosum*, имеющие регистрационные номера F-474, F-471, F-466, присвоенные им ВКПМ (Всероссийская Коллекция Промышленных Микроорганизмов). При проведении опытов установлено, что все испытываемые штаммы, смогли вырасти на искусственной питательной среде, основанной на мальт-пептонном агаре, то есть имеют способность к *in vitro*-колонизации искусственных субстратов.

При изучении воздействия температуры на формирование колоний установлено, что испытываемые штаммы корневой губки по-разному реагировали на одинаковую температуру (таблица 5). При повышении температуры с 20 до 26°C у штаммов F-471 и F-466 наблюдается усиление активности – скорость роста увеличивается на 0,9 и 0,7 мм в сутки.

У культуры штамма F-473 при повышении температуры на 6°C наблюдается обратный эффект: скорость роста замедляется на 0,3 мм в сутки. Кроме того, при температуре 26°C структура мицелия более плотная, чем при температуре 20°C, т.е. благоприятной температурой для активного радиального роста мицелия для штамма F-473 является 20°C, а для штаммов F-471 и F-466 – 26°C.

Таблица 5– Радиальная скорость роста колонии *H. annosum* при разных температурах

Штамм	Радиальная скорость роста, мм/сут	
	20°C	26°C
F-473	1,5	1,2
F-471	1,2	2,1
F-466	3,0	3,7

6.6 Заражение семян сосны корневой губкой в лабораторных условиях

Обработанные и необработанные экстрактом семена сосны обыкновенной, культивируемые на среде с корневой губкой *H. annosum* F-471 проявили высокую чувствительность к патогену (таблица 6). После трехнедельного наблюдения выявлено, что у необработанных экстрактом образцов, выращенных на среде с патогеном жизнеспособность снижена на 34%, а скорость развития корней и стеблей снижена в 1,7 и 2,3 раза соответственно. На семена, обработанные 16%-м экстрактом лютика едкого также отмечено негативное воздействие корневой губки. Однако интенсивность воздействия патогена на жизненные показатели заметно снижена: относительно контроля жизнеспособность снижена на 19%, что составляет разницу с опытом без экстракта в 15%. Также наблюдается изменение в интенсивности изменений размеров корней и стеблей: по сравнению с контролем длина корней снижена в 1,1 раза, а стеблей в 1,2 раза.

Таблица 6 – Влияние обработки семян на степень поражения проростков штаммом *H. annosum* F-471

Вариант опыта	Жизнеспособность, %	Длина корня, мм	Длина надземной части, мм	Некроз
1 (контр.)	97±1,9	20,3±0,9	31,3±1,3	-
2 (сем./пат.)	63±1,9	12,0±1,0	14,0±1,6	***
3 (сем./пат./экс.)	78±2,3	18,0±1,1	26,0±0,7	*

Примечание – *– некроз у 10–20 % проростков; ** – некроз у 30–50 %; *** – некроз у 50–70 %; **** – некроз у 80–100 % проростков

Полученный экстракт лютика едкого позволил значительно снизить негативное воздействие патогена на жизненные показатели проростков. Это доказывает эффективность применения экстракта в предпосадочной обработке семян.

Заключение

1. Анализ данных распространения корневой губки в Воронежской области показал, что площадь заражения сосновых лесов составляет 16 134,42 га (19% площади сосняков региона), что указывает на высокую активность патогена и низкую эффективность применяемых мер борьбы. Полевые обследования в Бобровском и Богучарском лесничествах подтверждают аналитические данные.

2. Результаты исследования в Пригородном лесничестве, в насаждениях сосны обыкновенной с различными лесоводственными характеристиками, показали, что корневая губка активнее поражает более продуктивные насаждения. Результаты согласуются с исследованиями других авторов (Кузнецов, 2005 и др.)

3. При обследовании очагов заражения сосны корневой губкой в Воронежской области идентифицировано 13 видов грибных организмов. Установлено отсутствие грибов-антагонистов, способных ограничивать развитие корневой губки. Впервые в Воронежской области зафиксирован вид *Sistotremastrum guttuliferum*, для которого типичным местом обитания считался Макаронезийский регион;

4. Результаты оценки изменений санитарного состояния деревьев показали, что сгребание лесной подстилки в валики по междурядьям оказывает положительный эффект на зараженное насаждение. Интенсивность ухудшения санитарного состояния в опытных насаждениях ниже, чем в контрольных. На контрольной секции, снижение ассимиляционного потенциала CO₂ происходит в два раза интенсивнее, чем в опытной.

5. Эксперименты показали, что благоприятной температурой для активного радиального роста мицелия штамма F-473 является 20°C, а для штаммов F-471 и F-466 – 26°C. При таких температурах культуры, выращенные на мальт-пептонной среде образуют хорошо развитый септированный мицелий.

6. Лютик едкий способен оказывать ингибирующее воздействие на рост и развитие мицелия корневой губки. Водный экстракт лютика показал высокий уровень ингибирования патогенна. При больших концентрациях (8 и 16%) наблюдается полное угнетение роста мицелия.

7. При оценке воздействия экстракта лютика едкого на проращивание семян сосны обыкновенной установлено, что низкие концентрации экстракта способны снизить всхожесть, тогда как высокие оказывают стимулирующее воздействие на проращивание семян.

Искусственное заражение семян сосны обыкновенной корневой губкой показало снижение их всхожести, угнетение роста всходов. Жизнеспособность зараженных семян, по сравнению с контролем, снижена на 34%, а развитие корня и стебля замедлено в 1,7 и 2,3 раза соответственно. При предварительном замачивании семян сосны в экстракте лютика едкого наблюдается значительное

снижение воздействия патогена – жизнеспособность семян составляет 78% при 97%-й жизнеспособности в контроле (не зараженные патогеном семена). Также наблюдается значительное снижение количества некрозов среди проростков обработанных экстрактом семян: 10-20% некрозов у обработанных и 50-70% некрозов без обработки.

Практические рекомендации

1. Для выращивания посадочного материала рекомендуется осуществлять предварительную обработку семян сосны 16%-м водным экстрактом лютика едкого (для всех ТЛУ). При данной концентрации обработанные экстрактом семена имеют более высокие показатели всхожести и меньший процент некрозов в зараженной патогеном среде.

2. Для снижения патогенности в зараженных корневой губкой насаждениях (всех возрастов и ТЛУ), рекомендуется проведение сгребания лесной подстилки в валики по междурядьям два раза в год.

3. На базе УОЛ ВГЛТУ рекомендуется провести натурный эксперимент разработанных на основе исследовательских данных комплексных схем борьбы с корневой губкой, которые предусматривают сочетание лесоводственных и биологических методов (рекомендации 3.1-3.4).

3.1. После проведения рубок ухода в сосновых насаждениях, рекомендуется профилактическая обработка территории (лесной подстилки и пней) 16%-м водным экстрактом лютика едкого методом наземного опрыскивания (из ранцевого опрыскивателя).

3.2. После перевода несомкнувшихся культур сосны в земли, покрытые лесной растительностью, на территории находящейся в зоне риска заражения корневой губкой, в весенний период, рекомендуется профилактическое комбинированное применение сгребания лесной подстилки в валики по междурядьям (повторяемость раз в два года) и ежегодной обработки территории экстрактом лютика едкого методом наземного опрыскивания до перехода насаждений в приспевающую группу возраста.

3.3. В чистых и смешанных зараженных корневой губкой сосновых насаждениях (всех возрастов и ТЛУ) рекомендуется ежегодное проведение сгребания лесной подстилки в валики по междурядьям и обработка территории экстрактом лютика едкого методом наземного опрыскивания 2 раза за вегетационный период – в конце весны-начале лета и в конце лета-начале осени, так как именно в этот период происходит наиболее активное спороношение корневой губки.

3.4. После проведения выборочных санитарных рубок в зараженных корневой губкой сосняках рекомендуется применение комбинации ежегодного

сгребания лесной подстилки и опрыскивания экстрактом лютика едкого территории очага.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ

Статьи, в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Лыков И.В. Ингибирующие свойства экстракта лютика едкого (*Ranunculus acris* L.) по отношению к корневой губке (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) и оценка его воздействия на всхожесть семян и рост проростков сосны обыкновенной при проращивании в лабораторных условиях / И.В. Лыков, А.А. Попова, О.А. Федорова [и др.] // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. – 2024. – № 4. – С. 68-79. – DOI 10.21178/2079-6080.2024.4.68.

2. Лыков И.В. Обзор современного состояния и эффективности мероприятий по защите сосновых насаждений от корневой губки (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) / И.В. Лыков, П.А. Максимчук // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11, № 3(43). – С. 63-73. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.3/5.

3. Лыков И.В. *Heterobasidion annosum sensu lato*: признаки заражения и достижения в области борьбы с заболеванием хвойных / И.В. Лыков, А.А. Попова, О.А. Федорова, С.М. Матвеев // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства – (принята к печати)

Материалы конференций, входящие в РИНЦ

4. Лыков И.В. Зависимость развития и распространения корневой губки (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) от основных лесоводственных показателей древостоев сосны обыкновенной в УОЛ ВГЛТУ / И.В. Лыков // Стратегия и перспективы развития агротехнологий и лесного комплекса Якутии до 2050 года : Сборник научных статей по материалам Всероссийской научно-практической конференции с международным участием, посвященной 100-летию образования Якутской АССР и 85-летию Первого президента РС(Я) М. Е. Николаева (Николаевские чтения), Якутск, 17 ноября 2022 года. – Якутск: Издательство "Знание-М", 2022. – С. 719-725.

5. Попова А.А. Идентификация фитопатогенных грибов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) молекулярными методами / А.А. Попова, И.В. Лыков, О.А. Федорова // Генетика и биоэнергетика клетки - основа современной медицины и биотехнологии: Сборник материалов международной научно-практической конференции, посвященной 50-летию со дня рождения Василия Николаевича Попова, Воронеж, 17–18 сентября 2024 года. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2024. – С. 164-166.

6. Лыков И.В. Влияние обработки семян сосны обыкновенной экстрактом лютика едкого на жизнеспособность и биометрию проростков в условиях

заражения *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. / И.В. Лыков, А.А. Попова, О.А. Федорова // XII Международная научно-практическая конференция «Проблемы лесной фитопатологии и микологии» – Минск, 2025 – (принята к печати)

7. Лыков И.В. Оценка эффективности лесоводственного метода борьбы с *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., основанного на сгребании лесной подстилки в валики по междурядьям в Воронежских насаждениях сосны обыкновенной / И.В. Лыков // II Международная научно-техническая юбилейная конференция «Лесные экосистемы в условиях меняющегося климата: проблемы и перспективы», посвященная 110-летию кафедры лесоводства, лесной таксации и лесоустройства и 95-летию ВГЛТУ – (принята к печати)

Базы данных

8. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2024625339 Российская Федерация. Коллекция плодовых тел и мицелия грибов сапротрофов и некротрофов в сосновых насаждениях г. Воронежа и Воронежской области: № 2024624983: заявл. 06.11.2024: опубл. 20.11.2024 / И.В. Лыков, А.А. Попова, С.М. Матвеев [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО "Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова".

Отзывы на автореферат и диссертацию в двух экземплярах с указанием фамилии, имени, отчества, почтового адреса, адреса электронной почты, наименования организации, должности лица, составившего отзыв, подписанные и заверенные печатью, просим направлять по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, д. 8, диссертационный совет 24.2.285.02.

Е-mail: tichonova-9@mail.ru

Ученому секретарю диссертационного совета к.б.н., доц. Тихоновой Е.Н.

Подписано в печать ____ . ____ 2025 г. Формат 60x84 ¹/₁₆ Цифровая печать

Печ. л. 1,0 Тираж 100 экз. Заказ № _____

Типография « _____ »

Адрес: _____