

На правах рукописи



Воробьева Наталия Сергеевна

**ДЕНДРОХРОНОЛОГИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ОСОБЕННОСТЕЙ
РОСТА ОСИНЫ (*POPULUS TREMULA* L.) В УСЛОВИЯХ
РУССКОЙ РАВНИНЫ**

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени

кандидата биологических наук

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

Москва – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана»

Научный руководитель: **Румянцев Денис Евгеньевич,**
доктор биологических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Бабушкина Елена Анатольевна,**
доктор биологических наук, доцент, директор
Хакасского технического института – филиала
ФГАОУ ВО «Сибирский федеральный университет»

Тишин Денис Владимирович,
кандидат биологических наук, доцент кафедры
общей экологии Института экологии и
природопользования ФГАОУ ВО «Казанский
(Приволжский) федеральный университет»

Ведущая организация: ФГБУН «Институт лесоведения Российской
академии наук»

Защита диссертации состоится «17» октября 2024 г. в 10 часов на заседании диссертационного совета 24.2.394.04, созданного 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 и на сайте ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова» www.narfu.ru

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Тюкавина Ольга Николаевна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Дендрохронологические исследования базируются прежде всего на анализе колебаний ширины годичного кольца от года к году (Douglass, 1915; Fritts, 1976). При этом широко используются производные от ширины годичного кольца показатели (Methods of dendrochronology, 1990), могут применяться более детальные анализы анатомии годичного кольца (Sweingruber, 1992; Ваганов, Терсков, 1977). Исследуя ширину годичного кольца и производные от нее показатели редко учитывают, что с экофизиологической точки зрения в анализ включаются разные индикаторы в тех случаях, когда идет речь о растениях с разным типом формирования вторичной ксилемы (рассеяннососудистых, кольцесосудистых и хвойных). Годичные кольца растений этих групп сформированы разными анатомическими элементами в разной пропорции, для их формирования и функционирования необходимы разные затраты продуктов ассимиляции и их линейные размеры априори имеют разный биологический смысл.

Степень разработанности. Специфика формирования радиального прироста у рассеяннососудистых древесных пород остается наименее исследованным вопросом дендрохронологии и дендроклиматологии в связи с их худшей различимостью для глаз наблюдателя. Однако в последние годы объем работ по этой теме значительно возрос. В настоящее время имеет смысл вести не только изучение влияния природных факторов на формирование годичных колец рассеяннососудистых древесных пород, но и анализировать специфику их отклика на климатические воздействия в сравнении с растениями из группы кольцесосудистых и хвойных.

Цель и задачи исследований. Цель настоящей работы – анализ специфики влияния природных факторов на формирование годичного радиального прироста вторичной ксилемы у тополя дрожащего (*Populus tremula* L.) в условиях Русской равнины.

В соответствии с этим были поставлены следующие задачи:

1. Построить хронологии (временные ряды радиального прироста) осины из разных мест обитания и для разных внутривидовых форм;
2. Построить необходимые для сравнительного анализа хронологии по таким видам как тополь лавролистный, дуб черешчатый, береза повислая, ольха серая, ель европейская;
3. Проанализировать сходство и отличие по дендрохронологическим параметрам для хронологий из разных географических точек; для разных внутривидовых форм и разных видов древесных растений;
4. Выявить отдельные закономерности влияния климатических факторов и солнечной активности на рост осины в разных экологических условиях, у разных видов в пределах единого местообитания и у разных внутривидовых форм;
5. Проанализировать экофизиологические механизмы устойчивости осины к действию гнили, вызываемой осиновым трутовиком на основе результатов дендрохронологического и биохимического анализа образцов древесины.

Научная новизна исследований. Впервые выполнены масштабные системные исследования закономерностей формирования радиального прироста древесины у осины в условиях Русской равнины. Проанализировано влияние на процессы формирования прироста древесины климатических и астрофизических

факторов, закономерности цикличности формирования прироста и специфика этих процессов в сравнении с видами древесных растений из иных систематических групп и у разных внутривидовых форм. Создана база данных древесно-кольцевых хронологий осины, имеющая дендроиндикационное значение.

Теоретическая значимость исследований. Выполненные исследования представляют фундаментальный интерес с точки зрения понимания экофизиологических механизмов продуктивности осиновых лесов, прогноза их реакции на глобальное изменение климата, селекции осины на устойчивость к ядровой гнили, вызываемой осиновым трутовиком и, в целом, для формирования стратегии ведения лесного хозяйства в осиновых лесах.

Практическая значимость исследований. Значимость определяется созданием банка древесно-кольцевых хронологий, позволяющих установить закономерности роста осины в разных частях ареала и использовать эти данные для индикации антропогенных воздействий, а также прогноза реакции осиновых лесов на последствия глобальных изменений климата. Также, важным практическим аспектом работы является углубление знаний о внутривидовом полиморфизме осины по устойчивости к ядровой гнили, вызываемой осиновым трутовиком.

Методология и методы исследований. Дендрохронологическая информация позволяет ретроспективно получить временные ряды наблюдений за динамикой роста древесных растений и сопоставляя эти данные с данными об изменениях экологического фона на конкретных временных интервалах позволяет делать выводы об экофизиологических процессах, определяющих продуктивность и устойчивость древесных растений. В частности, анализ временных рядов радиального прироста и производных от них временных рядов в сочетании с сопряженным анализом временных рядов динамики отражающих динамику метеопараметров и астрофизических факторов дает возможность установить характер влияния на рост экологических факторов в конкретных географических районах; выявить циклические закономерности изменчивости прироста и факторы их формирующие; исследовать внутривидовой полиморфизм в популяциях и ценопопуляциях древесных растений по наследственным экологическим свойствам; давать прогнозы изменений продуктивности и устойчивости лесов при разных сценариях развития климатических изменений.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Изменчивость радиального прироста в древостоях осины имеет географически обусловленную специфику, которая проявляется как эффект от сочетания разного характера влияния на прирост лимитирующих климатических факторов; разного характера связи прироста с солнечной активностью; разного характера проявления эндогенно и экзогенно обусловленной цикличности прироста.

2. Устойчивость осины к гнили, вызываемой осиновым трутовиком, на уровне тенденции связана с формированием более широких годичных колец древесины. При этом наблюдаются выраженные отличия по содержанию полисахаридов и продуктов вторичного метаболизма у деревьев осины с разной степенью восприимчивости к ядровой гнили.

3. Глобальное потепление, выражающееся в региональных изменениях особенностей климата (росте средних месячных температур отдельных месяцев) будет в целом способствовать ухудшению состояния, снижению продуктивности и устойчивости осиновых лесов Русской равнины.

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных результатов, излагаемых научных положений и выводов, изложенных в работе обусловлена значительным количеством собранного материала, применением специализированного оборудования и программного обеспечения для его обработки, статистическим анализом созданной базы данных.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на конференциях профессорско-преподавательского состава и аспирантов МФ МГТУ им. Н. Э. Баумана (2019, 2020, 2021, 2022, 2023), на международной конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» (Вологда, 2020, 2021, 2022, 2023); на Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы экологии» (Тула, 2021); на международной молодежной научной школе-конференции «Воспроизводство, мониторинг и охрана природных и культурных ландшафтов» (Воронеж, 2022); на всероссийской конференции с международным участием «Генетические процессы в популяциях» (Москва, 2022); на международной молодежной научной школе-конференции «Интеграция и устойчивость зеленой инфраструктуры» (Воронеж, 2023); на международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2023» (Севастополь, 2023), на международной дендрохронологической конференции «Русдендро-2023» (Воронеж, 2023), на 2-й Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 120-летию академика Н.П. Анучина «Развитие системы лесочётных работ и лесоправления в России» (Пушкино, 2023).

Декларация личного участия. Автором на основе анализа литературного материала сформулирована научная проблема, поставлена цель исследования и задачи для ее реализации, выполнены полевые и лабораторные исследования, камеральная обработка собранных данных и их анализ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, девяти глав, заключения, списка использованных источников. Текст работы изложен на 249 странице, содержит 48 таблиц, 85 рисунков. Список использованной литературы содержит 169 источников, из которых 42 работы на иностранном языке.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 30 научных работ, из них 6 статей в журналах, рекомендуемых ВАК для специальности 4.1.6 и из них 1 статья в журнале, индексируемом в Web of Science, а также 5 статей в журналах, рекомендуемых ВАК для иных специальностей, 2 статьи в изданиях индексируемых в базе данных Scopus, 16 статей в иных изданиях и сборниках научных трудов и 1 учебно-методическая работа.

Благодарности. Автор благодарит научного руководителя профессора Румянцева Д.Е., а также заведующего кафедрой лесоводство, экология и защита леса МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана В.А. Липаткина, директора Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана профессора В.Г. Санаева и научного сотрудника Института леса им. В.Н. Сукачева Сибирского отделения Российской академии наук Е. А. Тютюкову за консультации и помощь в работе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Осиновые леса, наряду с лесами из березы являются преобладающей формацией, формирующейся после вырубки коренных хвойных лесов.

Хозяйственное значение лесов осины растет в связи с ростом потребностей «зеленой энергетики» и необходимости выполнения лесами углероддепонирующей функции. Совершенствование технологий ведения хозяйства в осиновой секции лесов представляет собой актуальную задачу, требующую более глубокого познания экологии ростовых процессов у данного вида. Дендрохронологическому исследованию осины обыкновенной и осины американской посвящен заметный объем отечественных и зарубежных работ (Владимиров, Романовский, Щекалев, 2007; Скомарокова, Ваганов, Вирт, Кирдянов, 2009; Чернышенко, Румянцев, 2018; Astarde, 1997; Boyd et al., 2019; Cheng et al., 2017; Hogg et al., 2011; Maillet et al., 2022; Metsaranta et al., Senhova et al., 2016 и др.) который, однако, несопоставим по числу работ с исследованиями, выполненными в древостоях хвойных и широколиственных пород Русской равнины).

2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРИРОДНЫХ УСЛОВИЙ ОБЪЕКТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

Русская равнина является частью Восточно-Европейской равнины. Русская равнина подвержена воздействию воздушных масс, формирующихся над Атлантическим и Северным ледовитым океанами. Поочередное вторжение атлантических и арктических воздушных масс обуславливает неустойчивость погодных явлений и несхожесть сезонов разных лет. Характерной особенностью Русской равнины является яркое проявление горизонтальной зональности. Описанные выше факторы обуславливают отличие хронологий одного вида по дендрохронологическим показателям в разных частях ареала на территории Русской равнины. Осиновые леса распространены по всей территории Русской равнины: от зоны северной тайги до зоны лесостепи. В настоящее время на территории Русской равнины в силу исторических причин наблюдается увеличение доли осиновых лесов (Рысин, 2006).

3. ОБЪЕМ И МЕТОДИКА РАБОТ

Отбор образцов древесины проводился по стандартной методике, описанной и обоснованной в ряде работ (Румянцев, 2010; Липаткин и др., 2010; Матвеев, Румянцев, 2013; Румянцев и др., 2022). Измерения ширины годичных колец велись с помощью прибора Lintab, для проверки правильности измерений использовалась перекрестная датировка в программе Tsap-Win (Пальчиков, Румянцев, 2010). Характеристика основных использованных хронологий осины (*Populus tremula* L.) приведена в таблице 1. Помимо хронологий, указанных в таблице 1 на отдельных этапах исследований были задействованы такие второстепенные по своему вспомогательному значению хронологии как хронология осины из окрестностей города Пикалево Архангельской области, хронология тополя лавролистного (*Populus laurifolia* Ledeb.) из Валентиновского питомника ЩУОЛХ МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана Московской области, хронологии дуба черешчатого (*Quercus robur* L.), березы повислой (*Betula pendula* Roth.), ольхи серой (*Alnus incana* (L.) Moench.), ели европейской (*Picea abies* (L.) H. Karst.) из Молокчинского ботанико-энтомологического заказника Сергиево-Посадского района Московской области.

Таблица 1. Характеристика используемых хронологий осины.

Объект	Область	Число кернов, шт.	Год формирования первого годичного кольца в наиболее длинной хронологии/средняя длина хронологии, годы
Главный Ботанический сад им. Н.В. Цицина РАН	Московская	30	1996/19
Центрально-Лесной заповедник	Тверская	21	1909/76
Молокчинский ботанико-энтомологический заказник (древостой с гнилью)	Московская	20	1944/65
Молокчинский ботанико-энтомологический заказник (безгнилевой древостой)	Московская	16	1960/53
Валентиновский питомник МФ МГТУ им. Н. Э. Баумана	Московская	20	1973/33
Измайловский парк, г. Москва	Московская	12	1935/26
Терлецкий парк, г. Москва	Московская	12	1972/37
Памятник природы «Холм моренный «Шатрищи»»	Калужская	15	1944/54
Мордовский заповедник	Республика Мордовия	28	1934/77
Итого	Z	149	1909/49

Для целей биохимического анализа древесины использовался метод пиролиза в сочетании с газовой хроматографией и масс-спектрометрией. Исследование было выполнено с использованием пиролитического газового хроматографа с масс-детектором на базе Красноярского регионального центра коллективного пользования ФИЦ КНЦ СО РАН совместно с научным сотрудником Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН кандидатом биологических наук Е.А. Тютюковой. Для этой цели использован пиролизер типа Frontier EGA/PY-3030D который был непосредственно присоединен к газовому хроматографу с масс-спектрометром (QP 2020, Shimadzu). Температура пиролиза составляла 600°C. Хроматографическое разделение летучих продуктов выполнялся на капиллярной колонке Ultra Alloy (30 м × 0,25 мм × толщина 0,25 м). Хроматографическое разделение продуктов пиролиза осуществляли при начальной температуре 50°C с последующим программируемым повышением температуры колонки до 290°C со скоростью 5°C/мин. В качестве газ-носителя использовали гелий при постоянном расходе 1,0 мл/мин. Температура на входе ГХ составляла 250°C, при сплит-отношении 50:1. Масс-спектры регистрировали при электронной ионизации (70 эВ) в диапазоне: 35–450 у.е. Идентификацию пиков проводили с использованием библиотеки масс-спектров и

литературы. Продукты разложения древесинного вещества древесины здоровых деревьев и древесины деревьев, пораженных трутовиками, идентифицировали путем сравнения экспериментального масс-спектра с библиотекой масс-спектров, прилагаемой к прибору. Идентификация каждого летучего продукта может быть подтверждена, если процент сходимости с библиотечными данными достигает 85 % и выше.

Значения параметров солнечной активности (чисел Вольфа) с 1823 по 2022 гг. были получены с сайта <https://meteo-dv.ru/geospace/AverageMonthW/> Данные о многолетней динамике среднемесячных температур и месячной суммы осадков для разных регионов были получены с сайта <http://www.pogodaiklimat.ru/history>.

При статистической обработке данных использовались такие основные методы как корреляционный анализ, регрессионный анализ, кластерный анализ и анализ Фурье. Статистическая обработка данных выполнялась в программной среде Microsoft Excel и STATISTICA 13.0.

4. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ИЗМЕНЧИВОСТИ ПРИРОСТА

Задачей данного этапа исследования был анализ специфики изменчивости годовичного радиального прироста вторичной ксилемы тополя дрожащего в отдельных районах Русской равнины и оценка возможности идентификации географического места происхождения древесины осины на основе дендрохронологической информации. Индексированные хронологии подвергались кластерному анализу на основе расчета квадрата евклидова расстояния и объединения в группу по правилу полных связей. Результаты расчётов отражает кладиограмма на рис. 1.

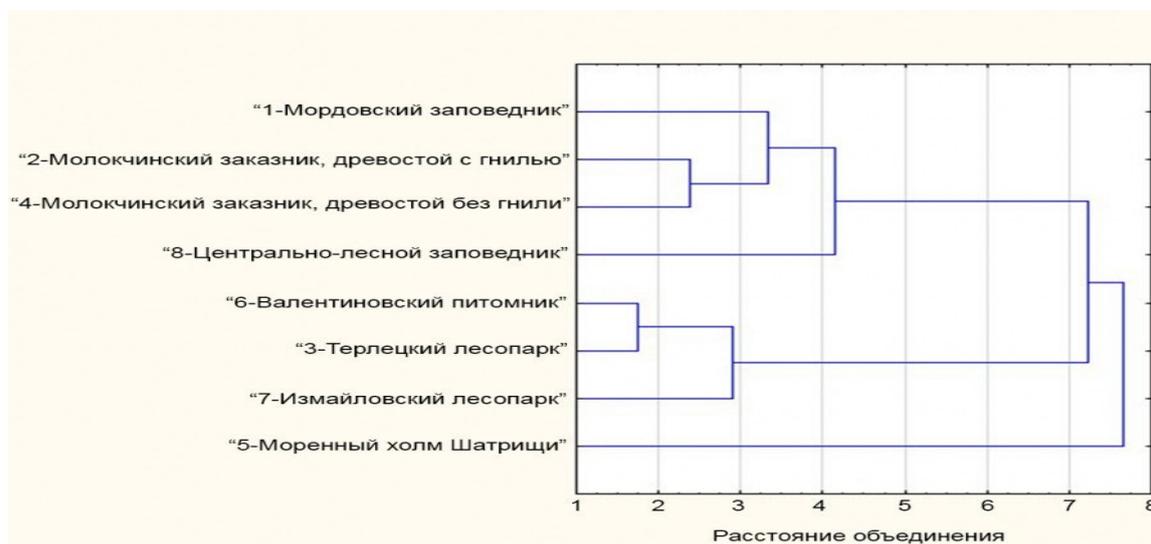


Рисунок 1. Результаты кластерного анализа индексированных древесно-кольцевых хронологий осины.

В итоге кластерный анализ дал хорошо биологически интерпретируемые результаты. Расположенные поблизости объекты сформировали четко выраженные отдельные кластеры. В один кластер оказались объединены хронологии из одного объекта - Молокчинского заказника. Еще один кластер сформировали хронологии из урбанизированных объектов Москвы и Московской области: Валентиновский питомник, Терлецкий лесопарк, Измайловский лесопарк. В целом один большой

кластер сформировали хронологии древостоев из особо охраняемых природных территорий: Молокчинский заказник, Центрально-лесной заповедник, Мордовский заповедник. Особое положение по динамике радиального прироста на кладиограмме занимает хронология осины с моренного холма Шатрищи, что обусловлено специфичным геологическим строением объекта.

Для апробации ранее сформированной технологии идентификации места происхождения срубленной древесины пригодны составляющие географически близко расположенные пары хронологий: хронологии из Молокчинского заказника и хронологии из расположенных поблизости Терлецкого и Измаповского лесопарка г. Москва (входящих в единую административную единицу Мосприроды). Результаты апробации отражают данные рис. 2 и рис. 3.

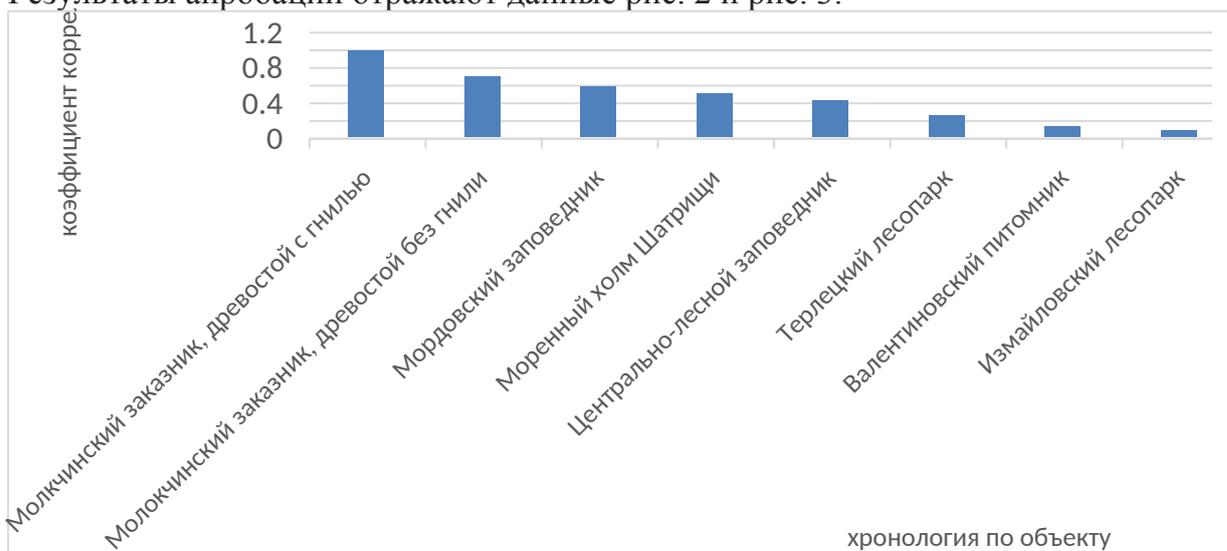


Рисунок 2. Ранжированный ряд коэффициентов корреляции между индексированными хронологиями, отражающий схожесть между образцами.

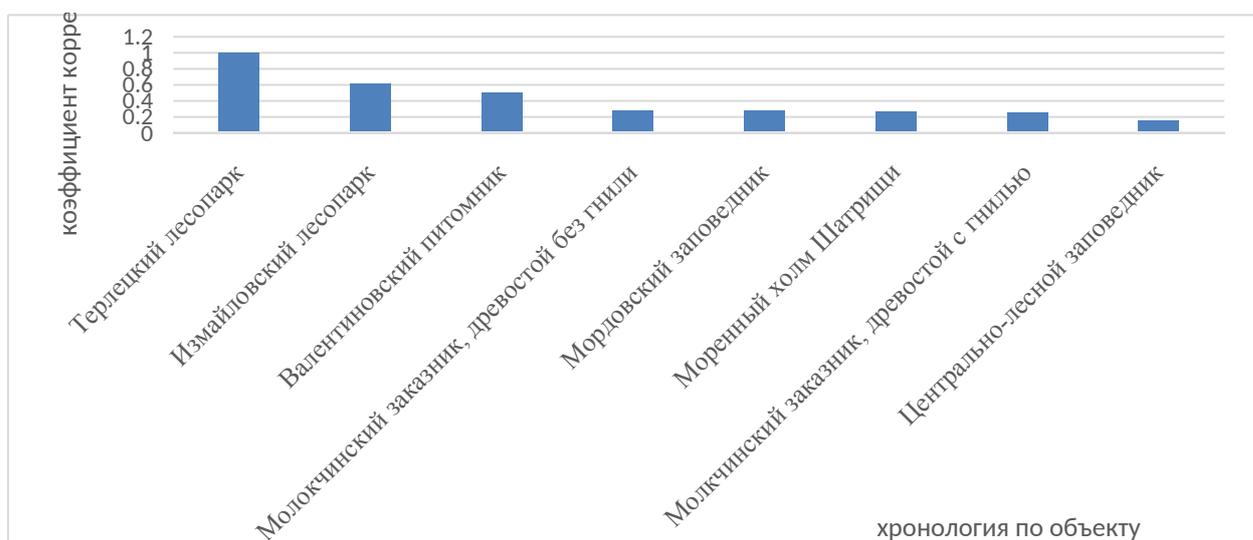


Рисунок 3. Ранжированный ряд коэффициентов корреляции между индексированными хронологиями, отражающий схожесть между образцами.

Если допустить, что происхождение древесины, от которой получены дендрохронологические образцы под кодовыми названиями "Молокчинский заказник, древостой с гнилью" и "Терлецкий лесопарк" неизвестно то можно провести эксперимент по его идентификации. Вычисление коэффициента

корреляции между тестируемой индексированной хронологией и эталонными хронологиями базы данных и последующее ранжирование значений в ряду позволяет установить схожесть тестируемых образцов с эталонными образцами базы данных и установить место происхождения древесины. Подводя итог расчетам (рис. 2, рис. 3) следует отметить, что принципы работы технологии идентификации древесины, разработанные для древостоев, ели и сосны (Lipatkin, Rummyantsev, 2016) подтверждаются на материале древостоев осины, что говорит об общем характере открытой закономерности и ее высокой практической значимости.

5. ДИАГНОСТИКА НАСЛЕДСТВЕННЫХ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ОСИНЫ

При кластерном анализе были использованы два метода расчета кладиограммы: расчет простого евклидова расстояния и объединение по правилу простого сцепления (вариант 1), и расчет квадрата евклидова расстояния и объединение по правилу сложного сцепления (вариант 2). Результаты расчета по первому варианту отражает рисунок 4.

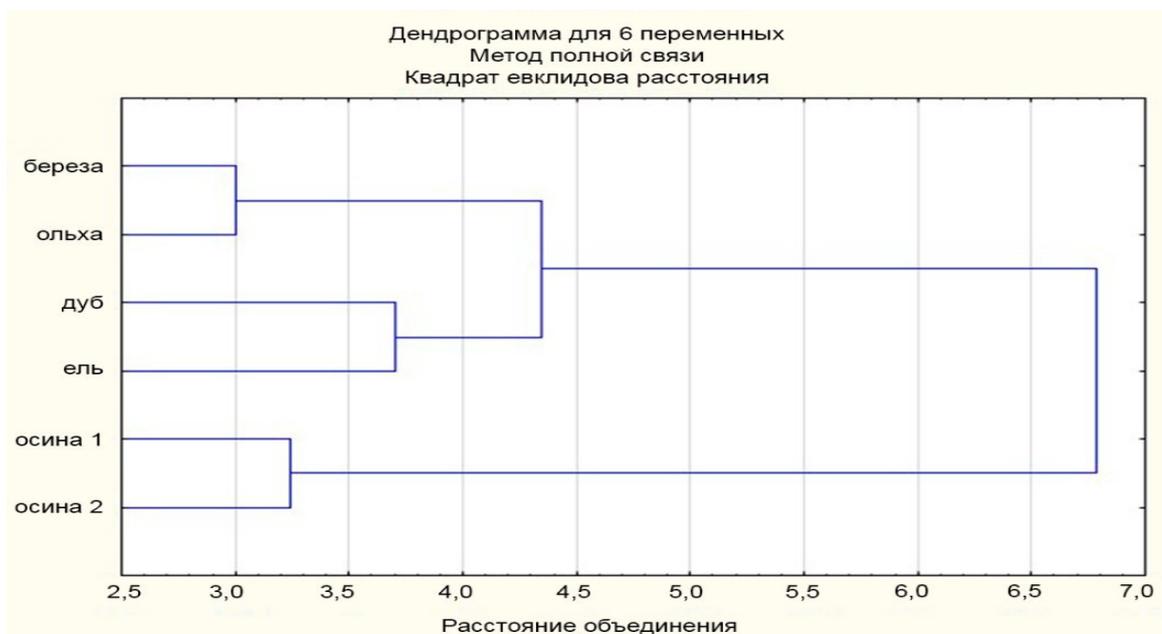


Рисунок 4. Результаты кластерного анализа по варианту 2.

Результаты кластеризации по второму варианту отвечают выбранному нами критерию: хронологии осины оказываются максимально близки между собой. Аналогичны по степени близости оказываются береза и ольха серая, а также дуб черешчатый и ель европейская. Характерно, что хронологии осины наиболее удалены от всех остальных пород: они образуют равнозначный кластер с группой: дуб, ель, ольха, береза. По данным кластерного анализа подтверждается факт уникальности наследственных экологических свойств осины.

Для лучшего понимания специфики погодичной изменчивости осины необходимо выполнить дендроклиматический анализ. Для этого возможно провести корреляционный анализ между индексированными хронологиями и рядами метеопараметров. Результаты выполненных расчетов (достоверные значения коэффициентов корреляции) приведены в таблицах 2, 3.

Таблица 2. Достоверные значения коэффициентов корреляции между индексами прироста и метеопараметрами года формирования годичного кольца.

	Береза	Дуб	Ель	Ольха	Осина 1	Осина 2
Температура января	z	z	z	z	0,25	z
Температура февраля	z	z	z	z	0,26	z
Температура июля	z	z	-0,26	-0,27	z	z
Температура сентября	z	z	z	z	0,24	z
Температура декабря	z	z	z	z	0,32	z
Осадки января	z	z	0,36	z	z	z
Осадки июля	z	z	0,25	z	0,27	0,25
Осадки августа	z	z	z	0,25	z	0,25

*При числе степеней свободы 65 и уровне доверительной вероятности 0,05 достоверны значения коэффициентов от 0,24 и выше. Z – недостоверные значения коэффициентов корреляции.

Таблица 3. Достоверные значения коэффициентов корреляции между индексами прироста и метеопараметрами года, предшествующего году формирования годичного кольца.

	Береза	Дуб	Ель	Ольха	Осина 1	Осина 2
Температура марта	z	z	0,35	z	z	z
Температура июля	z	-0,34	z	z	z	z
Осадки августа	z	z	z	z	0,36	0,29

*При числе степеней свободы 65 и уровне доверительной вероятности 0,05 достоверны значения коэффициентов от 0,24 и выше. Z – недостоверные значения коэффициентов корреляции.

Анализируя данные таблиц 2,3 следует отметить общую немногочисленность достоверных коэффициентов корреляции и слабую тесноту связи между переменными. Хронологии осины по имеют существенно отличающееся распределение коэффициентов корреляции. Это уместно объяснять тем, что одна хронология (осина 1) построена по деревьям, в значительной степени пораженным осиновым трутовиком. Положительное влияние на прирост осины оказывают повышенные осадки в июле в год формирования годичного кольца, при этом связь хотя и достоверна, но характеризуется низкой теснотой. Обнаружена связь специфичная лишь для осины (для обоих древостоев): положительная реакция прироста на увеличение количества осадков в августе в год, предшествующий году формирования годичного кольца.

Обобщенные данные о цикличности в динамике прироста в разных хронологиях в период 1964-2016 гг. приведены в таблице 4.

Таблица 4. Обобщенные результаты анализа Фурье для временных рядов за период 1964-2016 гг. в сравнении с результатами анализа временного ряда чисел Вольфа.

Временной ряд	Период, лет	Спектральная плотность, условные единицы
Береза	13	0,15
	6,5	0,20
	4	0,12
	3,05	0,09
	2,1	0,15
Дуб	17,3	0,18
	5,8	0,13
	4,0	0,09
Ель	17,3	0,11
	4,7	0,15
	5,2	0,15
	3,7	0,10
Ольха серая	6,5	0,28
	3,7	0,08
Осина 1 (древостой с гнилью)	10,4	0,58
	8,7	0,59
	4,0	0,16
	3,7	0,17
Осина 2 (древостой без гнили)	10,4	0,41
	6,5	0,42
	3,7	0,17
Число Вольфа	10,4	53896,17

Таким образом в динамике прироста разных древостоев не были выявлены циклические компоненты превышающие по периоду 17 лет. Выявленная 17-летняя компонента близка по периоду к 22-летнему циклу солнечной активности (цикл Хейла).

6. ВЛИЯНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРИРОСТА

Приведенные в главе 6 данные демонстрируют разнообразие связей между погодичной динамикой радиального прироста в древостоях осины и погодичной динамикой метеопараметров в зависимости от локальных условий произрастания. Обобщенные данные по объектам отражает таблица 5.

Таблица 5. Метеопараметры, значимые для формирования прироста осины.

Объект	Лимитирующие прирост факторы (в скобках приведено значение коэффициента корреляции)
Центрально-Лесной заповедник	Температура марта прошлого года (-0,30); температура апреля прошлого года (-0,43); температура апреля текущего года (-0,32).
Молокчинский заказник (древостой с гнилью)	Температура июня прошлого года (-0,41); температура июля прошлого года (-0,31); осадки июня прошлого года (0,28).
Молокчинский заказник (безгнилевой древостой)	Температура июня прошлого года (-0,39); температура июля прошлого года (-0,29); осадки июня прошлого года (0,34).
Валентиновский питомник МФ МГТУ им. Баумана	Температура июля текущего года (-0,30), температура июля прошлого года (-0,55), температура августа прошлого года (-0,39).
Измайловский парк	Температуры сентября текущего года (-0,44)
Терлецкий парка	Осадки мая прошлого года (-0,48), температуры февраля прошлого года (0,49), температуры сентября текущего года (-0,50).
Моренный холм Шатрищи	Температура июня прошлого года (-0,30); температура июля прошлого года (-0,27); осадки января прошлого года (0,61), осадки августа текущего года (-0,60), осадки августа прошлого года (-0,57).
Мордовский заповедник	Температура октября прошлого года (-0,28), температура декабря прошлого года (-0,27), температура июня текущего года (-0,27), температура июля текущего года (-0,40), температура августа текущего года (-0,36). На прирост положительно влияет сумма осадков в июне и пониженная сумма осадков в июле и августе

7. БИОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСИНЫ ОСИНЫ В СВЯЗИ С РАЗВИТИЕМ ГНИЛИ, ВЫЗЫВАЕМОЙ ОСИНОВЫМ ТРУТОВИКОМ

Данный раздел исследования посвящен биохимическому анализу древесины деревьев осины с разной степенью пораженности гнилью, вызываемой осиновым трутовиком (*Phellinus tremulae* (Bond.) Bond. et Bor.). Исследования проводились на территории Молокчинского ботанико-энтомологического заказника (Сергиево-Посадский район Московской области). Выбор объекта обусловлен тем, что там была обнаружена ценопопуляция осины с высоким полиморфизмом по устойчивости к осиновому трутовику. Для получения информации о химическом

составе древесины образцы древесины здоровых деревьев; деревьев с трутовиками на стволе; деревьев с гнилью на керне, деревьев с гнилью на керне и трутовиками на стволе были исследованы с помощью метода Пи-ГХ/МС (пиролитическая газовая хромато-масс-спектрометрия). При сравнении картины фрагментации масс-спектров с библиотекой NIST и опубликованными данными получали наибольшую вероятность идентификации химических соединений (рисунок 5).

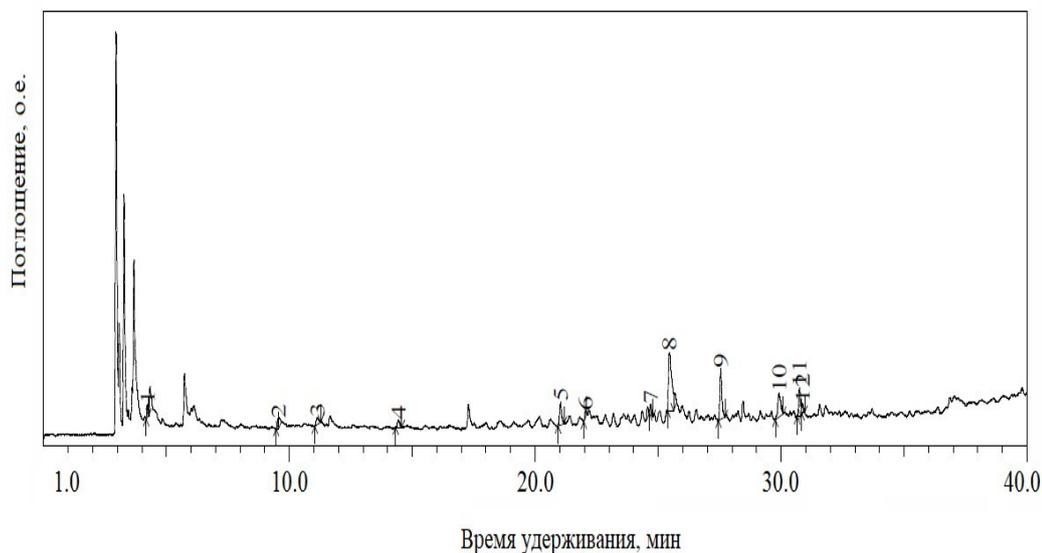


Рисунок 5. Пи-ГХ/МС профиль здоровой древесины осины у дерева без трутовиков.

Поскольку для всех образцов использовались одни и те же аналитические условия, то разное полученное относительное содержание было результатом изменений, претерпеваемых материалом на молекулярном уровне. Эти изменения повлияли на относительные выходы пиролитических процессов. Всего было идентифицировано 12 основных соединений для здорового дерева осины; 8 соединений для дерева с трутовиками; 13 соединений для дерева с присутствием мицелия и 12 соединений для дерева с трутовиками и ядровой гнилью. Результаты исследования показали, что у древесины с обильной ядровой гнилью, с ядровой гнилью и трутовиками на стволе повышено относительное содержание продуктов пиролиза полисахаридного комплекса по сравнению со здоровой древесиной осины на 9,6% и 18,7%, соответственно. У древесины с трутовиками без гнили относительное содержание продуктов пиролиза полисахаридного комплекса на 38% выше по сравнению со здоровой осиной. Метод Пи-ГХ/МС выявил частичное деметилирование звеньев лигнина в образцах осины с трутовиками и с гнилью. Продукты пиролиза лигнина в образцах с плодовыми телами трутовика, с плодовыми телами трутовика и гнилью различаются по относительному содержанию в исследованных образцах. Кроме того, состав лигнополимерной матрицы в исследованных ядрах различен. Наличие гваякол, 4-винила и сирингола обуславливает устойчивость древесины к гнили. Вероятно, что различия по устойчивости деревьев осины к гнили, вызываемой осиновым трутовиком, связаны с разной биологической стабильностью древесины, например, из-за разной интенсивности лигно-углеводной матрицы и ее химического состава.

8. ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ФОРМИРОВАНИЕ ПРИРОСТА

На следующем этапе исследований первоначально производился расчет коэффициентов корреляции между временными рядами индексов прироста осины и рядом чисел Вольфа. Расчет проводился за период 1977-2015 гг. Достоверные коэффициенты корреляции обнаружены для хронологий осины Мордовского заповедника, моренного холма Шатрищи и обобщенной средней хронологии по всем объектам, при чем в последнем случае связь достигает максимальных значений (коэффициент корреляции равен $-0,37$). Визуальный анализ сопряженности в колебаниях временных рядов позволил отметить, что ее характер может меняться на разных временных интервалах. Для анализа такого рода феномена наилучшим образом подойдет расчет скользящего коэффициента корреляции между рядами. При данных условиях расчета на уровне доверительной вероятности 0,05 значимы значения коэффициента корреляции от 0,60. Достоверная положительная корреляция наблюдается для периодов 1941–1956, 1966–1990 гг. Достоверная отрицательная корреляция наблюдается для периодов 1960–1973; 2003–2017 гг. В целом, значения скользящего коэффициента корреляции варьируют фактически от -1 ($-0,93$; $-0,86$) до $+1$ ($0,85$; $0,90$). Для более детального анализа цикличности колебаний прироста в хронологиях был выполнен спектральный анализ Фурье. Помимо циклической компоненты 9,5-9,6 выявленной в 4 исследованных хронологиях для 2 хронологий зафиксирована также одинаковая циклическая составляющая 7,6 лет. Также, дважды зафиксированы циклические компоненты с периодом 2,4 года и 4,2 года. По-видимому, подобного рода циклы, являются отражением некоторых эндогенных физиологических процессов в организме дерева (Романовский, 1992). Таким образом, в результате выполненных исследований было установлено, что на разных объектах (в древостоях из разных частей Русской равнины) цикличность колебаний прироста в индексированных хронологиях выражена по-разному. Компонента с периодом 9,6 лет выявлена для обобщенной хронологии осины по всем рассматриваемым объектам, в которой нивелированы локальные особенности влияния климата на прирост на разных географических объектах. Тополь лавролистный и тополь дрожащий, произрастая в одних и тех же экологических условиях (Валентиновский питомник) демонстрируют принципиально разные закономерности в циклической изменчивости величины радиального прироста. Два древостоя осины из разных географических точек одного объекта (Молокчинский заказник), отличающиеся, кроме того, по уровню пораженности осиновым трутовиком демонстрируют идентичные закономерности в циклической изменчивости радиального прироста.

9. ДИНАМИКА РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА У СЕРОКОРОЙ И ЗЕЛЕНОКОРОЙ ФОРМ ОСИНЫ

Осина характеризуется выраженной внутривидовой изменчивостью по окраске коры (Сукачев, 1934; Молотков и др., 1982 и др.). В итоге выполненных исследований на материале клоновых посадок осины на территории Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН были получены индивидуальные хронологии по ширине годичного кольца, на основании которых было построено две обобщенных хронологии: для зеленокорой и для серокорой форм осины. Анализируя

их, установили, что в разные периоды времени по величине прироста преобладает либо зеленокорая, либо серокорая форма. Однако в последние годы жизни признак «зеленокорость» однозначно сопряжен с признаком повышенного радиального прироста. Тенденцию к повышенному приросту у зеленокрых форм подтверждают литературные данные. Методом анализа климаграмм для лет высокого и низкого прироста были сделаны выводы о том, что в годы низкого прироста среднемесячные температуры с января по август были выше среднемноголетних. В годы низкого прироста месячные суммы осадков с февраля по август значительно ниже среднемноголетних. Таким образом, к формированию экстремально узких колец ведет водный стресс, обусловленный повышенными температурами воздуха и пониженными суммами осадков. Динамика индексов прироста у форм осины характеризуется следующими коэффициентами сходства: коэффициент корреляции +0,71 и коэффициент синхронности 62%. Результаты анализа методом климаграмм были дополнены результатами дендроклиматического анализа на основе расчета коэффициентов корреляции (таблица 6).

Таблица 6. Значения коэффициентов корреляции между временными рядами индексов прироста и временными рядами среднемесячной температуры в календарный год формирования годичного кольца.

Метеопараметр	зеленокорая	серокорая	среднее
Сумма осадков июня текущего года	0,49	z	0,47
Сумма осадков июля прошлого года	0,42	z	0,42
Температура июня текущего года	-0,42	-0,64	-0,56
Температура ноября прошлого года	-0,58	-0,57	-0,62

*При числе степеней свободы 20 и уровне доверительной вероятности 0,05 достоверны значения коэффициентов корреляции от 0,42 и более; z - недостоверные значения коэффициентов корреляции

Корреляционный анализ выявил наличие достоверных связей в колебаниях прироста и метеофакторов, среди которых есть общие для двух форм осины, а есть и специфичные для каждой отдельной формы. К числу общих относится с температурами ноября прошлого года.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Динамика радиального прироста в хронологиях осины специфичным образом отражает региональные особенности роста, что возможно выявить путем кластерного анализа хронологий на основе расчета квадрата евклидова расстояния и объединения в группы по правилу сложного сцепления. Региональная специфичность динамики прироста дает основания для идентификации места происхождения древесины на базе процедуры, в основе которой лежит корреляционный анализ индексированных хронологий.

2. На основе числовых методов (кластерный анализ, корреляционный анализ, анализ Фурье) была установлена уникальность наследственных экологических свойств осины среди основных лесообразующих пород. В исследованном древостое эта уникальность связана с положительной реакцией на повышенное количество осадков в августе в год, предшествовавший году формирования годичного кольца, и может быть реалистично экофизиологически интерпретирована. С учетом результатов гармонического анализа эта специфичность обусловлена наличием в изменчивости прироста осины циклической компоненты с периодом 10,4 года

полностью совпадающей с циклической компонентой временного ряда чисел Вольфа на исследуемом временном интервале.

3. Подводя итог результатам дендроклиматического анализа в региональном аспекте, можно сделать вывод о том, что хронологии осины действительно демонстрируют выраженную региональную специфику по содержащемуся в них климатическому сигналу. Юго-восточная хронология в сравнении с остальными содержит выраженный засухозависимый сигнал, связанный с метеоусловиями летних месяцев прошлого года. Это дает основания для прогноза ухудшения состояния осиновых лесов по мере глобального роста температур летних месяцев. Важно, что в оптимальных для осины условиях произрастания Центрально-Лесного заповедника дендроклиматический анализ дает наименьшее число достоверных биологически значимых значений коэффициентов корреляции. Это наблюдение может иметь индикационное значение как критерий «благоприятности» условий роста определенного древостоя.

4. Совокупность полученных данных дает основание прогнозировать ухудшение состояния осиновых лесов Русской равнины, снижение их продуктивности и устойчивости по мере роста средних многолетних температур воздуха в связи с наблюдаемыми трендами глобального потепления климата.

5. Для двух объектов и средней по всем объектам хронологии наблюдается достоверная корреляция с динамикой солнечной активности. Во всех случаях связь отрицательная и слабая по тесноте. Для ряда объектов достоверной корреляции между динамикой индексов прироста и динамикой солнечной активности не наблюдается. Максимальная корреляция среди разных объектов наблюдается для хронологии осины из Мордовского заповедника. Имеет смысл выполнить более детальные исследования влияния солнечной активности на прирост осины на данном объекте.

6. Между деревьями осины с разным уровнем развития гнили имеются отличия по относительному содержанию полисахаридов и продуктов вторичного метаболизма: у древесины с обильной ядровой гнилью, а также у здоровой древесины у деревьев с трутовиками в верхней части ствола повышается относительное содержание соединений синергильного и гваяцильного типа лигнина. Синергильная и гваяцильная группы лигнина могут рассматриваться как специфичный «маркер» биохимических свойств древесины у экземпляров осины устойчивых к осинового трутовику, что представляется перспективным для диагностики устойчивости клонов в селекционных целях.

7. Подверждено, что зеленокорая форма демонстрирует тенденцию к формированию более широких годичных колец. При этом серокорая форма более засухоустойчива, но менее жаростойка, чем зеленокорая. На зимостойкость обеих форм в условиях Москвы негативно влияют повышенные температуры ноября. С повышением среднегодовой температуры можно прогнозировать общее ухудшение состояния осиновых лесов Московского региона.

Список работ, опубликованных по теме диссертации:

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для специальности 4.1.6.

1. Румянцев, Д.Е. Рост туи западной (*Thuja occidentalis* L.) в дендрарии Главного Ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН по данным дендрохронологического анализа/ Д.Е. Румянцев Д.Е., С.Л. Рысин, А.А. Коженкова, П.С. Александров, **Н. С. Воробьева**, А.А. Епишков // Лесной вестник. Forestry Bulletin. - 2023. - Т. 27. -№ 1. - С. 5-16.

2. Комаров, Е.Г. Оценка цикличности колебаний прироста в древостоях осины на основе анализа Фурье / Е.Г. Комаров, Д.Е. Румянцев, **Н. С. Воробьева** // Journal of Agriculture and Environment. – 2023. – №4 (32). - С. 1-14.

3. Комаров, Е.Г. Экспериментальные алгоритмы идентификации лесопатологического состояния древесных растений / Е.Г. Комаров, Д.Е. Румянцев, **Н.С. Воробьева**, У.С. Шипинская, А.Е. Парфенова // Journal of Agriculture and Environment. - 2023. - № 7 (35). - С. 1-6.

4. Воробьева, Н.С. Специфика проявления климатического сигнала в хронологиях осины для древостоев из разных частей Русской равнины / **Н.С. Воробьева**, Д.Е. Румянцев // Лесохозяйственная информация. - 2023. - № 1. - С. 5-16.

5. Румянцев Д.Е. Дендроэкологическое исследование роста осины в условиях Молокчинского заказника Московской области методами дендрохронологии /Д.Е. Румянцев, **Н. С. Воробьева** / Известия ВУЗов. Лесной журнал. - 2024. - №3 -С. 46-64. (**Web of Science**)

6. Румянцев, Д.Е. Особенности роста серокорой и зеленокорой форм осины в культурах на территории Главного ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН / Д. Е. Румянцев, **Н.С. Воробьева**, С.Л. Рысин, А.А. Коженкова, Е.А. Тютюкова // Лесохозяйственная информация. - 2024. - № 1. - С. 15–28.

Статьи в изданиях, индексируемых в базе данных Scopus

7. Lipatkin, V. Dendroclimatic studies of aspen growth in Moscow /V. Lipatkin, D. Rummyantsev, **N. Vorobyeva**, A. Sirotova //E3S Web of Conferences. - 2023 - Volume 411, 02046- p. 1-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202341102046>

8. Rummyantsev, D. Features of the growth of aspen trees with different levels of development of stem rot (based on the study of the population from the Molokchinsky reserve of the Moscow region) /D. Rummyantsev, E. Tyutkova, **N. Vorobyeva**, A. Sirotova// E3S Web of Conferences. – 2024 - Volume 494, 01022 -p.1-14. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202449401022>

Статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ для иных специальностей

9. Румянцев, Д.Е. Динамика радиального прироста в ценопопуляции ели европейской из Алексеевской рощи Национального парка "Лосиный остров" / Д. Е. Румянцев, В.В. Киселева, **Н.С. Воробьева**// Международный научно-исследовательский журнал. - 2020. - № 9-1 (99) - С. 49-54.

10. Румянцев, Д. Е. Дендрохронологическое исследование роста осины в условиях Центрально-Лесного заповедника /Д.Е. Румянцев, **Н.С. Воробьева** // Международный научно-исследовательский журнал. - 2021. - № 1-2 (103). - С. 78-83.

11. Vorobyeva, N.S. Study of the radial growth dynamics of the aspen (*Populus tremula* L.) at the north border of forest-steppe zone of the European part of Russia (Mordovian reserve) / N.S. Vorobyeva, D. E. Rummyantsev, M. A. Melikhova // Journal of Agriculture and Environment. - 2022. - № 2 (22). - С.1-6

12. Румянцев, Д.Е. Географические особенности динамики радиального прироста тополя дрожащего в отдельных регионах Русской равнины /Д.Е. Румянцев, **Н.С. Воробьева** // Принципы экологии. - 2022. -№ 3 (45). - С. 50-60.

13. Воробьева, Н. С. Особенности роста осины в условиях ООПТ «Моренный холм Шатрищи» по данным дендрохронологического анализа /Н.С. Воробьева, Д.Е. Румянцев // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета. Электронный научный журнал. - 2023. - № 3 (47). - С. 6—19.

Статьи в иных журналах и сборниках научных трудов

14. Румянцев, Д.Е. Дендроклиматический анализ роста псевдотсуги Мензиса в условиях дендрария МФ МГТУ им. Баумана /Д.Е. Румянцев, Н.Б. Денисова, **Н.С. Воробьева**, П.С. Александров // Современные проблемы науки и образования. Материалы международных конференций. Пенза: РАЕ, 2019 – С. 39-41.
15. Румянцев, Д.Е. Особенности роста туи западной в дендрарии МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана по данным дендрохронологического анализа/ Д.Е. Румянцев, **Н.С. Воробьева**, П.С. Александров //Academy. - 2019. - № 4 (43). – С. 4-6.
16. Румянцев, Д.Е. Рост ольхи серой в условиях Молокчинского заказника по данным дендрохронологического анализа / Д. Е. Румянцев, А.Н. Миславский, **Н.С. Воробьева**, А. А. Ткачева, А. В. Сивачева //Актуальные проблемы развития лесного комплекса. Материалы XVIII Международной научно-технической конференции. Вологда: ВГУ, 2020. – С. 152-155.
17. **Воробьева, Н.С.** Дендрохронологическая информация как элемент биоинформационных технологий / **Н.С. Воробьева** // Сборник докладов XXVII Всероссийской научно-практической конференции «Современные проблемы экологии». Тула: Тульский государственный университет, Инновационные технологии, 2021. - С. 106-109.
18. **Воробьева, Н.С.** Значение исследований радиального прироста рассеяннососудистых древесных пород на территории Русской равнины / **Н.С. Воробьева** //Материалы конференции «Ежегодная национальная научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ за 2021 г.». Красноярск: ООО «Научно-инновационный центр», 2022. - С. 30-31.
19. Румянцев, Д.Е. Связь изменчивости радиального прироста сосны кедровой сибирской с биметрическими и климатическими показателями /Д. Е. Румянцев, В.М. Сидоренков, Е.С. Папулов, **Н.С. Воробьева** // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2022. - Т. 34. - № 1. – С.20-37.
20. Румянцев, Д.Е. Проблема интерпретации ростовых реакций растений в свете теории В. А. Драгавцева применительно к дендрохронологическим рядам / Д. Е. Румянцев, **Н. С. Воробьева**// Материалы Научной конференции с международным участием, посвященной 50-летию юбилею лаборатории популяционной генетики им. Ю. П. Алтухова ИОГен РАН и 85-летию со дня рождения академика Юрия Петровича Алтухова «Генетические процессы в популяциях». М.: Институт общей генетики им. Н.И. Вавилова РАН. 2022. - С. 85.
21. Румянцев, Д.Е. Как связаны скорость радиального роста и пораженность гнилью у деревьев осины? /Д. Е. Румянцев, Н. С. Воробьева, Е. А. Тютюкова, М.В. Моргунова / Д. Е. Румянцев, **Н. С. Воробьева**, Е. А. Тютюкова, М. В. Моргунова // Материалы XX Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса». Ответственный редактор Е.А. Иванищева. Вологда: ВГУ, 2022. - С. 180-182.
22. Румянцев, Д.Е. Идентификация изменения структуры древостоя и динамики семеношения (на примере хронологий ели Молокчинского заказника) / Д. Е. Румянцев, **Н.С. Воробьева**, М.А. Мелихова, А.А. Ткачева // Материалы XX Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса». Ответственный редактор Е.А. Иванищева. Вологда: ВГУ, 2022. - С. 173-180.

- 23. Воробьева, Н.С.** Влияние солнечной активности на радиальный прирост осины в отдельных районах Русской равнины /**Н.С. Воробьева**// Материалы международной молодежной научной школы-конференции «Воспроизводство, мониторинг и охрана природных и культурных ландшафтов». Воронеж: ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2022. - С. 11-15.
24. Epishkov, A.A. Radial growth dynamics in Scots pine forests of the Yalutorovsky forest district of Tyumen region // A.A. Epishkov, V.A. Lipatkin, V. A. Frolova, V. M. Sidorenkov, L.V. Stonozhenko, **N.S. Vorobieva**, D.E. Rummyantsev// Ecology, Environment and Conservation. 2022. Т. 28. № 3. С. 1252-1261.
25. **Воробьева, Н.С.** Рост серокорой и зеленокорой формы осины в урбанизированной среде Москвы по данным анализа годичных колец / Н. С. Воробьева // Материалы Международной молодежной научной школы-конференции «Интеграция и устойчивость зеленой инфраструктуры». Воронеж: ВГЛТУ им. Г.Ф. Морозова, 2023. - С. 109-113.
26. Румянцев, Д.Е. Влияние солнечной активности на рост осины в условиях Мордовского заповедника /Д.Е. Румянцев, **Н.С. Воробьева**// Экологический мониторинг и моделирование экосистем. 2023. Т. 34. № 1-2. - С. 128-142.
27. Румянцев, Д.Е. Перспективы разработки алгоритмов идентификации биометрических признаков древостоев на основе дендрохронологической информации /Д.Е. Румянцев, **Н.С. Воробьева**, А.Е. Парфенова, М.А. Мелихова //Сборник статей международной научно-практической конференции «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность – 2023». Севастополь: ФГАОУ ВО «Севастопольский государственный университет» Институт ядерной энергии и промышленности, 2023 - С.93-97.
28. **Воробьева, Н.С.** Динамика радиального прироста осины в условиях Русской равнины // Материалы XXI Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса». Вологда: ВГУ, ВГМХА им. Н. В. Верещагина, 2023. – С. 375-377.
29. **Воробьева, Н. С.** Влияние климатических факторов на формирование годичного радиального прироста сосны в культурах на территории Молокчинского заказника (Московская область) /Н.С. Воробьева, А.А. Епишков, Д.В. Белобров //Cifra. Биологические науки, 2024, № 1 (1) – С.1-8.

Учебно-методические работы

30. Румянцев Д.Е. Методические рекомендации по отбору кернов древесины для целей дендрохронологических исследований в лесоведении и лесоводстве. /Д. Е. Румянцев, В.А. Липаткин, А.В. Черакшев, **Н.С. Воробьева**. Москва: Профессиональная наука, 2022.-44с.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с указанием фамилии, имени, отчества, почтового адреса, адреса электронной почты, наименования организации, должности, шифра и наименования научной специальности в соответствии с номенклатурой, по которой защищена диссертация, лица, составившего отзыв, подписанные и заверенные печатью, просим направлять по адресу: 163002 г.Архангельск, Набережная Северной Двины, 17, диссертационный совет 24.2.394.04.

Ученый секретарь Тюкавина Ольга Николаевна E-mail: o.tukavina@narfu.ru