

На правах рукописи



Епишков Антон Алексеевич

**ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕКРЕСТНОЙ ДАТИРОВКИ
РЯДОВ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА В
ЛЕСОВОДСТВЕННЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических науки

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: **Демаков Юрий Петрович**, доктор биологических наук, старший научный сотрудник, профессор кафедры лесных культур, селекции и биотехнологии ФГБОУ ВО «Поволжский государственный технологический университет».

Катютин Павел Николаевич, кандидат биологических наук, научный сотрудник Лаборатории экологии растительных сообществ Федерального государственного бюджетного учреждения науки Ботанический институт им. В.Л. Комарова Российской академии наук.

Ведущая организация: ФГБУН «Федеральный исследовательский центр комплексного изучения Арктики имени академика Н.П. Лаверова УрО РАН»

Защита диссертации состоится « 22 » мая 2024 г. в 14 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. Вопросы, касающиеся исследований синхронности временной изменчивости радиального прироста, методов перекрестной датировки древесно-кольцевых хронологий являются актуальными для решения многих важных задач науки о лесе. Датированные ряды радиального прироста важны в лесоведении и лесоводстве для получения информации значимой для исследовательской и практической работы в сфере лесной таксации, лесной селекции и генетики, лесопатологическом мониторинга лесов и прогноза их состояния, оценке успешности роста лесных культур и видов интродуцентов в условиях городского озеленения, оценки качества древесины, оценки эффекта от рубок ухода и лесомелиоративных работа, для реконструкции и прогнозирования частоты возникновения физиологически значимых для древесных растений засух, а также для целей судебно-ботанической экспертизы с применением методов дендрохронологии. (Тольский, 1904, 1936; Мозолевская, Тудор, 1967; Мозолевская, 2001; Комин, 1968; 1990; Шиятов, 1973, 1990; Мелехов, 1979; Иерусалимов, 1971; 2004; Пальчиков, Румянцев, 2009; Ваганов, Качаев, 1992; Ваганов, Шашкин, 2000; Пугачевский, 1983, 1992; Русаленко, 1986; Феклистов, Евдокимов, Барзут, 1997; Матвеев, 2001; Розанов, 1969, 1971, 1972; Романовский, 1983; 1992; Романовский, Щекалев, 2006; Щекалев, Тарханов, 2006; Мельников, 2009; Корчагов, Хамитов и др., 2009; Липаткин и др., 2010; Румянцев, 2010, Неверов и др., 2010; Кулаков, 2011; Вахнина, 2011; Хасанов, 2011; Гаврилин, 2012; Матвеев, Румянцев, 2013; Вернодубенко, Дружинин, Жаворонков, 2014; Дружинин, Дружинин, Грибов, 2016; Воронин и др., 2016; Соломина и др., 2017; Белов, 2017; Тимащук, 2017; Пинаевская, 2019; Тютюкова, 2021; Катютин и др., 2021; Тюкавина, 2021; Иванов и др., 2021; Демина, 2022; Соболев, Феклистов, Грязькин и др., 2022; Демаков, 2002, 2023; Комаров и др., 2023; Кнорре, 2023 и другие) и в конечном итоге для целей проектирования и создания информационных систем управления лесным хозяйством.

Степень разработанности. В начале XX века одним из главных открытий Дугласа (Douglass, 1919) был метод «перекрестной датировки». Отдельные элементы данного метода использовались и в трудах его предшественников, но лишь Дуглас впервые превратил его в системообразующий методический подход для исследования изменчивости годовых колец. Дуглас использовал визуальные методы датировки и методы датировки на основе скелетных графиков. Метод перекрестной датировки более ста лет используется в исследовательской работе. Биологическая обоснованность и надежность лежащих в его основе экофизиологических закономерностей не вызывает сомнения у серьезных исследователей. В то же время, по причине разнообразия объектов исследования как в географическом, так и в систематическом ключе, разнообразия исследовательских задач этот метод в настоящее время представляет собой, по существу, целый спектр методических наработок, отличающихся от первоначально использовавшихся методических подходов. Задачи датировки времени сооружения деревянных построек, археологической древесины, раскопок, предметов искусства, построения сверхдолгосрочных хронологий для целей климатических реконструкций настоящее время методически достаточно хорошо проработаны, но следует отметить, что эти задачи стоят далеко за рамками задач лесоведения и лесоводства.

Цель и задачи исследований. Цель настоящей работы заключается в исследовании закономерностей фенотипической изменчивости по показателям синхронности радиального прироста в популяциях хвойных видов древесных растений и разработка новых методических элементов, совершенствующих метод датировки древесно-кольцевых хронологий адаптирующих метод для эффективного использования в лесоводственных исследованиях.

Для достижения поставленной цели были сформулированы следующие основные задачи:

1. Проанализировать литературные данные о методах оценки сходства между дендрохронологическими рядами при перекрестной датировке, связи синхронности колебаний радиального прироста с воздействием экологических факторов на состояние древостоев;
2. Проанализировать литературных данных о варьировании значений коэффициента синхронности у разных видов и в разных экологических условиях в связи с разными лесоводственно-биологическими и эколого-физиологическими свойствами видов и зонально-типологическими основами формирования лесов;
3. Исследовать фенотипическую изменчивость радиального прироста и выявить закономерности варьирования значений коэффициента синхронности рядов радиального прироста в ценопопуляциях сосны обыкновенной, произрастающей во Владимирской области, Нижегородской области и Вологодской области;
4. Исследовать фенотипическую изменчивость радиального прироста на примере малоуспешных при интродукции видов хвойных (на примере ели Шренка и ели восточной в условиях Москвы), усовершенствовать методы перекрестной датировки хронологий данных видов в целях дальнейшего развития теоретических и прикладных аспектов развития интродукции древесных растений.

Научная новизна исследований. Впервые, на обширном статистическом материале проведена оценка частоты встречаемости значений коэффициентов синхронности между тестовой и эталонной хронологиями в ценопопуляциях сосны обыкновенной из разных частей ареала. Разработаны количественные критерии оценки верности перекрестной датировки двух хронологий, в одной из которых известен год формирования ближайшего к коре годичного кольца, а в другой этот год точно не установлен. Дана оценка вероятности ошибки при принятии решений о правильности и неправильности взаимной датировки двух хронологий. Исследованы экологические закономерности варьирования древесно-кольцевых хронологий в ценопопуляциях сосны обыкновенной по показателю синхронности. Впервые получены датированные хронологии ели Шренка и ели восточной из г. Москва.

Теоретическая значимость исследований. Выполненные исследования представляют фундаментальный интерес с точки зрения генетики популяции лесообразующих пород и развития методов селекции на продуктивность и устойчивость. В настоящее время необходимо иметь точные данные о частоте встречаемости тех или иных значений коэффициента синхронности при правильной и при неправильной датировке для хронологий из разных ценопопуляций древесных растений разных видов. Это позволит усовершенствовать методики судебно-ботанической экспертизы с применением методов дендрохронологии и сделать их более объективными, а также повысит точность научно-исследовательских работ за счет совершенствования процедуры

контроля за правильностью измерений.

Практическая значимость исследований. Полученные результаты могут быть использованы при оценке правильности выполненных измерений при проведении всех видов дендрохронологических исследований. Разработанные принципы принятия решений могут быть использоваться в практике судебно – ботанических экспертиз с применением методов дендрохронологии для решения следующих задач: установление даты рубки дерева; установление даты усыхания дерева; установление факта сухостойности на момент рубки; установление даты сооружений древесных построек; установление происхождения срубленной древесины. Исследование групповой изменчивости временных рядов радиального прироста по показателю синхронности представляет практический интерес для развития методик судебно-ботанической экспертизы, совершенствования их до такой степени, чтобы они стали доступны широкому кругу специалистов лесного хозяйства. Совершенствование методик исследования роста интродуцентов ценно для совершенствования технологий ухода за деревьями в урбанизированной среде.

Методология и методы исследования. Метод перекрестной датировки получил развитие в трудах немецкого лесоведа и ботаника Бруно Хубера (Rump, 1969). Коэффициент схождения Хубера между двумя дендрохронологическими рядами рассчитывался как отношение числа несходных по реакции прироста временных интервалов к общему числу временных интервалов. Отечественная дендрохронологическая школа, как правило, в исследованиях использовала другой, сходный с ним показатель, предложенный в диссертации Т.Т. Битвинскаса (1966) – коэффициент синхронности. Он рассчитывался уже как отношение сходных по реакции прироста временных интервалов к общему числу временных интервалов. Им введено понятие «общей сходимости ряда кривых». Для исследования изменчивости кривых радиального прироста по показателю синхронности Т. Т. Битвинскасом был предложен метод экспериментального создания заведомо неправильной датировки хронологий. Им производился сдвиг всех кривых радиального прироста отдельных деревьев в отношении хронологии по средней ширине годичных слоев древостоя на 1 год или несколько лет – то есть создавалась «сознательная» ошибка при сопоставлении годичных слоев по календарным годам. Статистика по данному методу ранее практически не была получена. При этом она необходима в лесоведении и лесоводстве для решения следующих практических задач: контроль за правильностью измерений годичных колец на отдельных образцах древесины; диагностика состояния дерева на момент рубки (сухостойное или сырораствующее); установление времени рубки дерева, установления даты усыхания дерева, а также иных задач связанных с определением даты завершения камбиальной активности в стволе дерева. Подобного рода данные значимы в том числе в судебно-ботанических экспертизах с применением методов дендрохронологии. Важно принимать во внимание, что при работе с ограниченным числом образцов видов интродуцентов перекрестная датировка на основе коэффициентов синхронности применима не всегда и здесь требуется наработка специфических приемов для малого числа образцов и малой их временной длины, с учетом патологической структуры некоторых годичных колец. Подобного рода методические подходы важны для разработки методик диагностики состояния деревьев при формировании технологий ухода за деревьями в урбанизированной среде.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Для целей перекрестной датировки хронологий сосны обыкновенной в естественных лесах Русской равнины при перекрестной датировке рядов радиального прироста необходимо учитывать не только конкретное значение коэффициента синхронности, но и вероятность фиксации данного значения при заданном алгоритме оценки синхронности хронологий. Это позволит делать статистически обоснованные выводы в исследованиях и экспертизах, связанных с определением даты прекращения камбиальной активности в стволе дерева, а также повысит общую точность лесоводственных исследований выполняемых на базе древесно-кольцевых хронологий так как проверка правильности датировки древесно-кольцевых хронологий на основе оценки их взаимной синхронности является необходимым этапом каждого из них.

2. При оценке успешности роста видов интродуцентов и выявлении климатических факторов значимых для развития видов в условиях интродукции эффективным исследовательским инструментом может служить использование даты и частоты формирования выпавших годовичных колец в качестве индикатора лет с критически неблагоприятными погодными условиями. Для этих целей необходимо применять специфичные методы перекрестной датировки, основанные как на детальном анализе фенотипической изменчивости ширины годовичного кольца у индивидуальных деревьев, так и на анализе структуры годовичного кольца у индивидуальных деревьев и сопряженности формирования годовичных колец аномальной структуры с погодными условиями конкретных календарных лет.

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных результатов определяется точностью измерения ширины годовичных колец (не менее 0,05 мм); обязательным использованием для каждой индивидуальной хронологии процедуры перекрестной датировки в программе Tsap-Win в целях контроля за правильностью выполненных измерений; использованием современных методов статистической обработки материала с применением табличного процессора Microsoft Excel и программ MathCad, STATISTICA 13.0.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на: VI Московской научно-практической конференции «Студенческая наука» (Москва, 2011), XXIX Крашенинниковских чтениях (Петропавловск - Камчатский, 2012), международной конференции «Дендро 2012: перспективы применения древесно-кольцевой информации для целей охраны, воспроизводства и рационального использования древесной растительности» (Москва, 2012), на международной научно-практической конференции LXVII Герценовские чтения (Санкт-Петербург, 2014), на XXI и XXII международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов» (Москва, 2014, 2015), на всероссийской (с международным участием) научной конференции «Биологические аспекты распространения, адаптации и устойчивости растений» (Саранск, 2014), на ежегодных конференциях профессорско-преподавательского состава МГУЛ (2012 – 2016, 2022), на заседаниях семинара МГУЛ-ИЛАН «Производственный процесс и структура деревьев, древесины и древостоев» (сопредседатели В.В. Коровин, М.Г. Романовский, Москва 2014), на всероссийской конференции «Современные проблемы науки и образования» (Москва 2015), на IX Всероссийской научно-практической конференции «Лесозащита и комплексное использование

древесины» (Красноярск, 2022), на XXI Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы развития лесного комплекса» (Вологда, 2023), на 2-й Всероссийской научно-практической конференции, посвящённой 120-летию академика Н.П. Анучина «Развитие системы лесоучётных 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, пяти глав, основных выводов, списка использованных источников и приложений. Текст работы изложен на 270 страницах, содержит 20 таблиц и 50 рисунков, а также таблицы и рисунки приложений. Список использованной литературы содержит 118 источников, из которых 16 работ на английском языке.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 24 работы, из них 8 статей в журналах рекомендуемых ВАК, 1 статья в базе Scopus, и одна коллективная монография.

Благодарности. Автор благодарит научного руководителя профессора кафедры лесоводство, экология и защита леса (ЛТ-МФ) МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана Д.Е. Румянцева за научное руководство. Автор благодарен заведующему кафедрой лесоводство, экология и защита леса (ЛТ-МФ) МФ МГТУ им. Н.Э. Баумана доценту В.А. Липаткину за консультации и помощь в работе. Автор благодарен директору Мытищинского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана профессору В.Г. Санаеву за содействие и помощь в выполнении исследования на всех его этапах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. Состояние изучаемого вопроса

В рамках обзора литературы выполнен анализ литературных данных о методах оценки сходства между дендрохронологическими рядами при перекрестной датировке; о связи синхронности колебаний радиального прироста с воздействием экологических факторов на состояние древостоев; о варьировании значений коэффициента синхронности у разных видов и в разных экологических условиях в связи с разными лесоводственно-биологическими и эколого-физиологическими свойствами видов и зонально-типологическими основами формирования лесов. На основании проанализированных источников (Bernarz, 1975; Douglass, 1919; Eckenwalder, 2009; Jozsa, 1985; Rump, 2011; Schweingruber, 1996; Wolodarsky-Franke, 2005; Битвинскас, 1966; Болботумов 1990; Гортинский, 1986; Жаворонков, 2009; Карпавичюс, 1994; Колотушкин, 2007; Колчин, 1977; Комин, 1990; Кулакова, 1997; Липаткин, Мазитов, 1997; Матвеев, Румянцев, 2013; Оркин, Малоквасов, 1992; Розанов, 1969, 1971, 1972; Румянцев, 2003, 2006, 2010; Савва, Ваганов и др., 2003; Феклистов, 1978; Шиятов, 1986; Щекалев, 2006) рассматривается применение коэффициента синхронности в дендрохронологических исследованиях для целей перекрестной датировки.

Глава 2. Краткая характеристика основных объектов исследования

Исследования включали хронологии по следующим видам древесных растений: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.). Исследования, в ботанических садах включали ель восточную (*Picea orientalis* L.) и ель Шренка (*Picea Schrenkiana* F.et M.) Объем выполненных работ характеризует таблица 1.

Таблица 1. Объем выполненных полевых работ

| Объект исследований | Количество пробных площадей | Количество кернов |
|---|-----------------------------|-------------------|
| Муромцевское лесничество Владимирской области | 32 | 598 |
| Краснобаковское лесничество Нижегородской области | 28 | 537 |
| Бабаевское лесничество Вологодской области | 34 | 730 |
| ГБС РАН | 2 | 11 |
| Ботанический сад МГУ | 2 | 13 |
| Общее количество | 98 | 1889 |

Всего в ходе исследования была исследована анатомическая структура более чем 112000 годичных колец.

Глава 3. Методика работ

Пробные площади закладывались в таксационных выделах средневозрастных, приспевающих и спелых древостоев I-III бонитета. Определялась высота каждого дерева, диаметр на высоте 1,3 м, класс роста по Крафту, категория состояния, наличие признаков вредителей и болезней. На каждой пробной площади выполнялось геоботаническое описание. Отбор образцов древесины производился с помощью бурава Пресслера с деревьев I-III класса роста по Крафту, отбор велся на высоте 1,3 м. Характеристика пробных площадей приведена в приложении к диссертации. Измерения производились при помощи прибора LINTAB, перекрестная датировка выполнялась в программе Tsap-Win.

Коэффициент синхронности GLK (gleichläufigkeit coefficient) рассчитывался следующим образом: $\Delta i = (X_{i+1} - X_i)$; если $\Delta i > 0$; $G_{ix} = +1/2$; если $\Delta i = 0$; $G_{ix} = 0$ (очень редко); если $\Delta i < 0$; $G_{ix} = -1/2$; для двух кривых $G_{(x,y)} = (1/n-1) \sum_{i=1}^{n-1} |G_{ix} + G_{iy}|$, где $G = GLK$, X и Y дендрохронологические ряды; n – длина дендрохронологических рядов, лет; i – момент времени.

Методика работ в Ботанических садах была аналогична, но в зависимости от специфики объекта приходилось вносить изменения по числу отобранных кернов и высоты отбора. Для измерения ширины годичных колец использовался МБС – 10. Для фотографирования годичных колец применялся микроскоп МИКМЕД – LCD. Перекрестная датировка здесь выполнялась при помощи программы Excel.

Глава 4. Совершенствование методов перекрестной датировки на основе коэффициента синхронности

Ширина годичного кольца представляет собой количественный признак древесного индивида. Учет колебания ширины годичных колец от года к году лежит в основе расчета коэффициентов синхронности. Обработка полученных данных выполнялась с помощью программы TSAP-Win. Для каждой пробной площади, характеризующей отдельную ценопопуляцию сосны, был произведен расчёт коэффициентов синхронности между средней групповой хронологией и индивидуальными хронологиями. Эти данные составили массив значений коэффициента синхронности для случаев правильной датировки. Он включал в себя 1861 вариант. На втором этапе производилось моделирование искусственно заданной неправильной датировки индивидуальной хронологии относительно средней групповой хронологии. В программе TSAP-Win каждая индивидуальная древесно-кольцевая хронология сдвигалась на один год назад по сравнению с групповой средней (эталонной) хронологией и производился расчёт коэффициента синхронности. Максимальный период сдвига составлял пять лет. Таким образом, был получен массив значений коэффициента синхронности при заведомо неправильной перекрестной датировке. Он включал в себя 9352 варианта.

Таблица 2. Количество вариантов значений коэффициента синхронности по объектам исследования.

| Объект исследований | Количество вариантов в анализируемой выборке | |
|---|--|---|
| | Правильная датировка | Искусственно смоделированная неправильная датировка |
| Муромцевское лесничество Владимирской области | 595 | 3027 |
| Краснобаковское лесничество Нижегородской области | 537 | 2685 |
| Бабаевское лесничество Вологодской области | 729 | 3640 |
| Общее количество | 1861 | 9352 |

Для полученных массивов значений коэффициента синхронности при правильной и при неправильной датировке были рассчитаны значения частоты встречаемости в выборке. Полученные ряды распределения частоты встречаемости коэффициентов синхронности могут быть пересчитаны в ряды накопленных частот (рис.2)

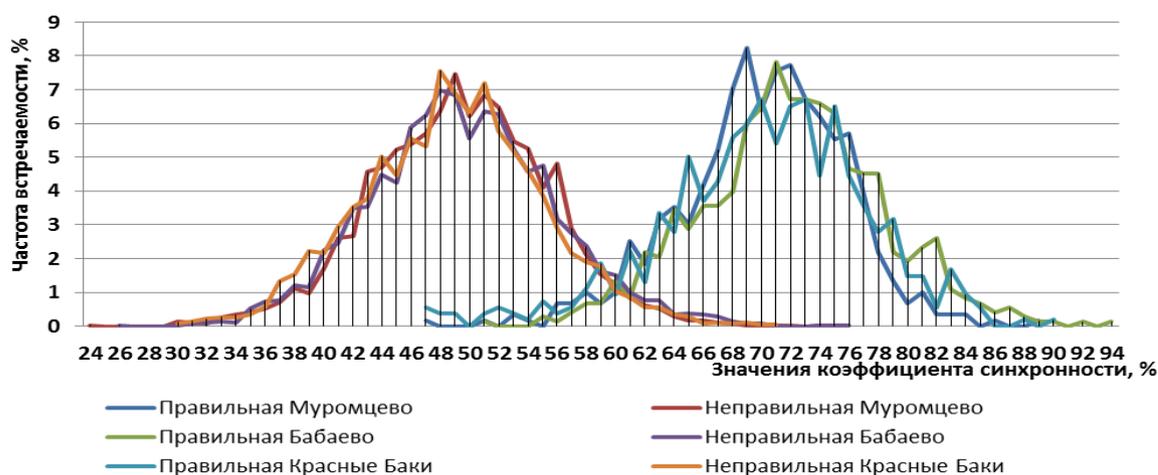


Рисунок 1. Графики частот встречаемости коэффициентов синхронности при правильной и искусственно смоделированной неправильной датировке древесно-кольцевых хронологий в популяциях сосны обыкновенной из Владимирской, Нижегородской и Вологодской областей.

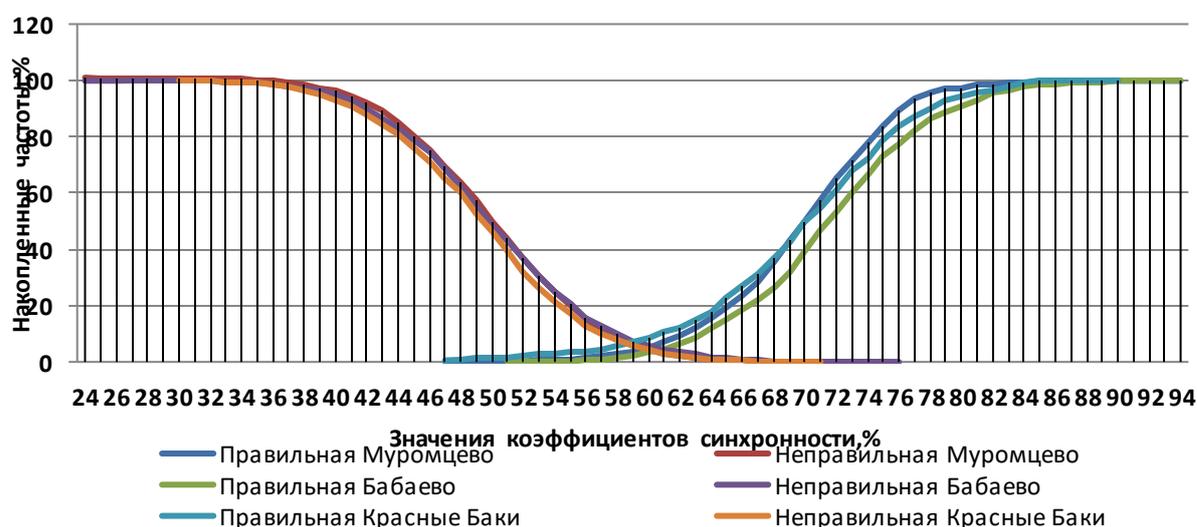


Рисунок 2. Графики накопленных частот встречаемости коэффициентов синхронности при правильной и искусственно смоделированной неправильной датировке древесно-кольцевых хронологий в популяциях сосны обыкновенной из Владимирской, Нижегородской и Вологодской областей.

Была проведена статистическая обработка данных, результаты которой отражены в таблице 3. Из приведенной таблицы 3 видно, что средние значения коэффициентов синхронности для всех трех рассматриваемых участков при правильной датировке значительно выше, чем при неправильной датировке.

Значимость различий между распределениями частот встречаемости значений коэффициента синхронности при правильной и неправильной датировке подтверждается для всех трех участков по критерию Колмогорова-Смирнова (уровень значимости – 0,05). При этом средние значения при правильной датировке во всех трех областях близки между собой. Для искусственно смоделированной неправильной датировки аналогично – средние значения коэффициента синхронности практически совпадают для трех различных областей.

Таблица 3. Статистическая характеристика массивов распределений значений коэффициентов синхронности

| Лесничество | Правильная датировка | | | Искусственно смоделированная неправильная датировка | | |
|------------------------|----------------------|-----------------|------------|---|-----------------|------------|
| | Муромцевское | Краснобаковское | Бабаевское | Муромцевское | Краснобаковское | Бабаевское |
| Среднее | 70,17 | 72,03 | 70,09 | 48,81 | 49,50 | 49,40 |
| Стандартное отклонение | 7,03 | 6,25 | 5,61 | 6,15 | 6,27 | 5,99 |
| Минимум | 47 | 51 | 47 | 30 | 26 | 24 |
| Максимум | 90 | 94 | 89 | 71 | 76 | 75 |

Для проверки однородности массивов значений коэффициента синхронности при правильной и неправильной датировке на трех рассматриваемых площадях все полученные значения коэффициентов синхронности были объединены в один массив и проведено разбиение на два кластера с помощью метода кластеризации K-средних. Данный алгоритм позволяет таким образом разделить исходные наблюдения на заданное число кластеров, чтобы дисперсия между кластерами была максимальна, а внутри кластеров – минимальна. Иными словами, данный метод позволяет разбить наблюдения на заданное число групп так, чтобы внутри каждой из групп значения были максимально однородны и при этом эти сами группы значительно отличались между собой. Ниже приведены результаты разбиения всего массива коэффициентов на две группы (таблица 4). При этом из коэффициентов, полученных при правильной датировке во всех рассматриваемых областях, 97% вошли в первый кластер, а из коэффициентов, полученных при неправильной датировке, во второй кластер вошли 93%. Центр первого кластера близок к средним значениям коэффициентов синхронности при правильной датировке для всех трех рассматриваемых участков, а центр второго кластера – к средним значениям при неправильной датировке.

Таблица 4. Результаты кластеризации массива значений коэффициента синхронности

| Параметр | 1 кластер | 2 кластер |
|------------------------|-----------|-----------|
| Среднее | 68,98 | 48,46 |
| Стандартное отклонение | 6,64 | 5,36 |
| Минимум | 59 | 24 |
| Максимум | 94 | 58 |

Таким образом, как видно из данных таблицы 4 массивы значений коэффициента синхронности для всех трех областей при правильной и неправильной датировке составляют две однородные группы, при этом различия в средних значениях между правильной и неправильной датировкой статистически значимы.

Гипотеза о нормальном распределении массивов значений коэффициента

синхронности (при правильной и неправильной датировке) в ходе выполненных статистических расчетов была отвергнута из-за значимо отличных от нуля коэффициентов асимметрии и эксцесса. В дальнейшем для сравнения распределений по пробным площадям использовались непараметрические критерии (для их применения не требуется нормальность исходных данных).

Далее было проведено попарное сравнение всех массивов правильных коэффициентов между собой по критерию Колмогорова-Смирнова. Аналогичную процедуру проделали с тремя массивами коэффициентов при неправильной датировке. Критерий Колмогорова-Смирнова позволяет сравнить частоты в двух эмпирических функциях распределения и проверяет гипотезу об однородности выборок (гипотезу о том, что рассматриваемые выборки извлечены из одной и той же генеральной совокупности). При этом, нулевой гипотезой является то, что различия между распределениями недостоверны, а альтернативной гипотезой является достоверность различий. Результаты сравнения представлены в виде таблицы 5.

Таблица 5. Сравнение массивов значений коэффициента при правильной и экспериментально заданной неправильной датировке

| Тип массива | Сравниваемая пара регионов | | |
|------------------------|---|--|--|
| | Нижегородская область – Вологодская область | Нижегородская область – Владимирская область | Вологодская область – Владимирская область |
| Правильная датировка | 0,0016 | 0,1801 | 0,0001 |
| Неправильная датировка | 0,0059 | 0,0124 | 0,4906 |

В таблице 5 для каждой пары сравнений приведено р-значение (p-value) – вероятность ошибки при отклонении нулевой гипотезы. Если р-значение меньше заданного уровня значимости, то нулевая гипотеза отвергается в пользу альтернативной, если р-значение больше заданного уровня значимости альфа – то нулевая гипотеза на данном уровне значимости принимается. Таким образом, если $p > 0,05$, различия между выборками признаются недостоверными на уровне значимости 0,05. Аналогично, если $p > 0,01$, гипотеза об одинаковом распределении двух выборок не отвергается на уровне значимости 0,01. Подводя итог, следует заключить, что все три массива значений коэффициента синхронности при экспериментально заданной неправильной датировке согласно оценке по критерию Колмогорова-Смирнова при уровне значимости 0,01 имеют одинаковый закон распределения. Массивы значений при правильной датировке имеют разные законы распределения, что видимо, обусловлено разной ценопопуляционной структурой анализируемых популяций. С практической точки зрения важно, что массивы значений при неправильной датировке могут быть объединены в единую выборку и на ее основе выведен общий закон распределения (таблица 6). В таблице 6 представлены накопленные значения частоты встречаемости коэффициентов синхронности. На основании полученного ряда возможно оценить вероятность ошибки в выводе о взаимно неверной датировке древесно-кольцевых хронологий. Вывод в полной мере справедлив для ситуации,

когда эталонная хронология построена по 20 индивидуальным деревьям сосны I-III класса роста по Крафту с каждого из которых отбиралось по 1 керну на высоте 1,3 м. Тестовая хронология строилась на основе данных одного дерева, с которого был отобран один керн на высоте 1,3 м. На материале хронологий из Муромцевского лесничества Владимирской области было также оценено влияние лесотипологического фактора на формирование изменчивости временных рядов радиального прироста по показателям синхронности. Вариации между разными группами не очень большой и составляет несколько процентов (максимум 4%). В рамках решения поставленных нами исследовательских задач значения коэффициентов синхронности по площадям из разных типов леса корректно объединять в общую выборку при анализе.

Таблица 6. Значения накопленной частоты встречаемости коэффициента синхронности между эталонной и тестовой хронологией сосны обыкновенной при искусственно смоделированной неправильной датировке хронологий.

| Значение коэффициента синхронности, % | Частота встречаемости наблюдений при неправильной датировке, % | Значение коэффициента синхронности, % | Частота встречаемости наблюдений при неправильной датировке, % | Значение коэффициента синхронности, % | Частота встречаемости наблюдений при неправильной датировке, % |
|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|---------------------------------------|--|
| 66 | 1 | 55 | 19 | 44 | 83 |
| 65 | 1 | 54 | 24 | 43 | 87 |
| 64 | 1 | 53 | 29 | 42 | 90 |
| 63 | 2 | 52 | 35 | 41 | 93 |
| 62 | 3 | 51 | 42 | 40 | 95 |
| 61 | 3 | 50 | 48 | 39 | 96 |
| 60 | 5 | 49 | 55 | 38 | 98 |
| 59 | 6 | 48 | 62 | 37 | 98 |
| 58 | 8 | 47 | 68 | 36 | 99 |
| 57 | 11 | 46 | 73 | 35 | 99 |
| 56 | 15 | 45 | 78 | 34 | 100 |

Глава 5. Совершенствование методов перекрестной датировки на основе исследования качественных характеристик прироста

В неблагоприятных условиях произрастания перекрестная датировка временных рядов радиального прироста затруднена по причине высокой частоты встречаемости выпадающих годичных колец (Шиятов, 1973, Матвеев, 2003). Если датировка на основе расчета коэффициентов синхронности затруднена, то может использоваться визуальный осмотр изменчивости годичных колец, при котором фиксируется не только изменчивость их ширины, но и ряд вспомогательных признаков: общий характер роста, наличие морозобойных и ложных колец, процент поздней древесины и др. (Шиятов, 1973). Ель тянь-шанская и ель восточная относятся к видам, чье состояние в условиях интродукции на территории Московской области является не удовлетворительным. Это виды, чьи естественные

ареалы лежат значительно южнее, и территория Московской области, по существу, представляет уже северную границу их возможной относительно успешной интродукции. Дендрохронологические исследования роста видов интродуцентов, произрастающей у крайней экологической границы своей возможной интродукции, сталкиваются с проблемой «выпадающих» годовых колец. Высокая частота встречаемости «выпадающих» годовых колец, разное число выпавших колец на образцах древесины, ограниченное число пригодных для исследования учетных деревьев затрудняют процедуру перекрестной датировки индивидуальных древесно-кольцевых хронологий. Тем самым затрудняется построение правильной обобщенной групповой хронологии, характеризующей рост вида в данных природно-климатических условиях, затрудняя выполнение дендрохронологического анализа. На примере ели Шренка и ели восточной из Главного ботанического сада РАН и Ботанического сада МГУ были разработаны следующие методические приемы, которые могут быть использованы для перекрестной датировки индивидуальных древесно-кольцевых хронологий видов интродуцентов: использование в качестве эталонной хронологии индивидуальной хронологии дерева с наилучшим состоянием; итерационное формирование эталонной хронологии по мере правильного датирования хронологий выборки; выявление годовых колец со специфической анатомической структурой и проверка гипотезы о том, что характерные кольца сформировались в один и тот же год, отличавшийся своеобразными характеристиками погодного режима; привлечение к процедуре датировки хронологий по иным видам данного рода из числа успешно произрастающих в данном регионе условиях интродукции, а также, если это возможно, то и автохтонных для региона. В результате использования разработанных нами методических подходов, было установлено, что на образцах древесины некоторых деревьев формировались выпавшие годовые кольца в 2006, 2007 годах. У разных деревьев число выпавших годовых колец отличалось. У учетного дерева №1 выпавшие годовые кольца отсутствовали, однако сформировавшиеся в данный год радиальные приросты были чрезвычайно узкими. (Рисунок 5). Существенную помощь при перекрестной датировке дал анализ расположения годового кольца с характерной патологической структурой, сформировавшегося в 1979 году. (Рисунок 6). Как видно из данных таблицы 7 в недатированных хронологиях это кольцо условно соответствовало разным календарным годам, а после датировки стало соответствовать 1979 году. Итог выполненной перекрестной датировки индивидуальных древесно-кольцевых хронологий отражает рисунок 7.

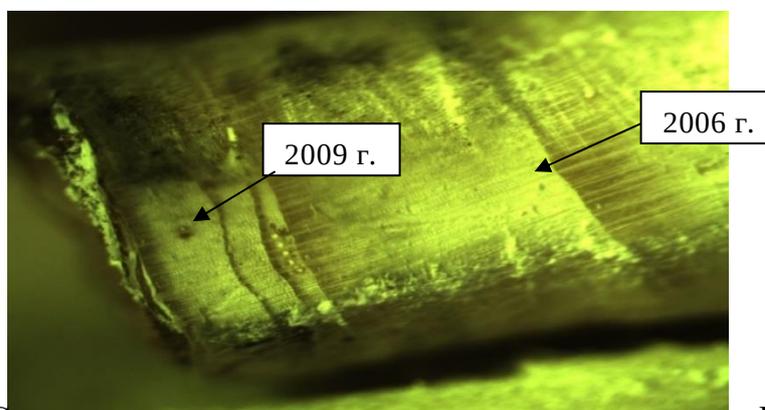


Рисунок 5. Строение годовых колец у учетного дерева ели Шренка №1 (слева направо 2009, 2008, 2007, 2006).

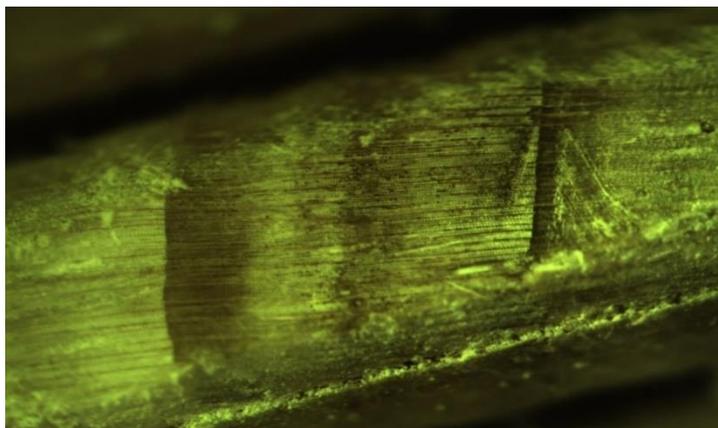


Рисунок 6. Характерная патологическая структура годичного кольца 1979 года у учетного дерева ели Шренка

Таблица 7. Положение годичного кольца с патологической структурой на образцах древесины с разных учетных деревьев ели Шренка

| Номер учетного дерева | Положение на керне кольца с характерной патологической структурой | Год формирования по данным отсчета числа годичных колец от года последнего прироста | Год формирования по данным перекрестной датировки |
|-----------------------|---|---|---|
| 1 | 31-е кольцо | 1979 | 1979 |
| 2 | 29-е кольцо | 1981 | 1979 |
| 3 | 29-е кольцо | 1981 | 1979 |
| 4 | 28-е кольцо | 1982 | 1979 |
| 5 | 29-е кольцо | 1981 | 1979 |
| 6 | 28-е кольцо | 1982 | 1979 |

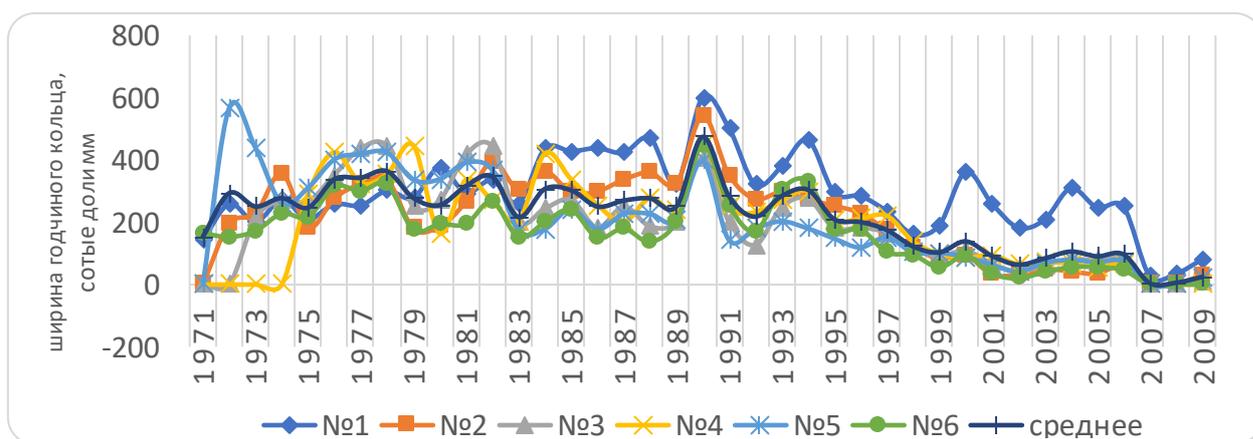


Рисунок 7. Правильно датированные индивидуальные древесно-кольцевые хронологии ели Шренка из ГБС РАН.

У ели восточной выпавшие годичные кольца в исследуемых древесно-кольцевых хронологиях отсутствовали (Рис.8)

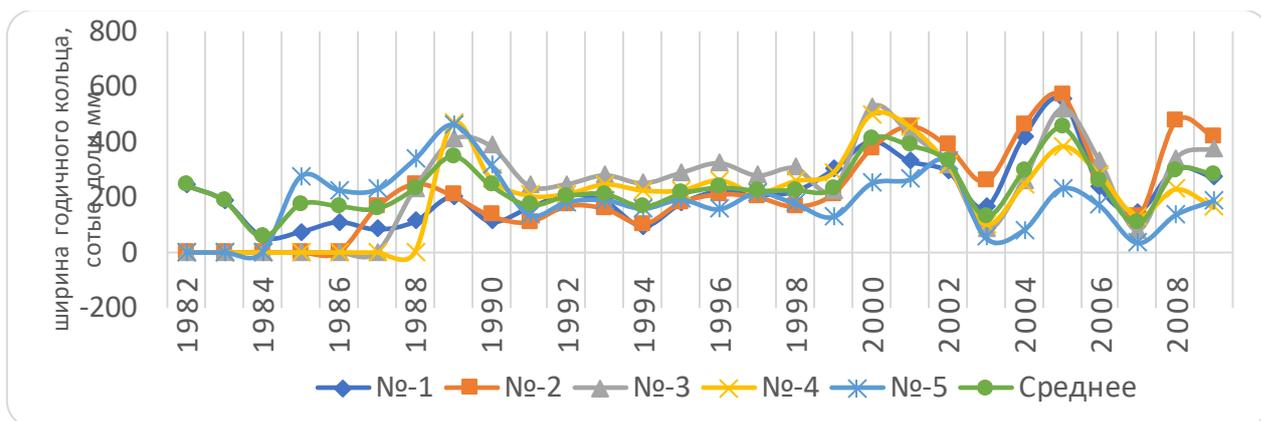


Рисунок 8. Динамика ширины годичного кольца у учетных деревьев ели восточной из ГБС РАН по годам.

В дендрарии МГУ сопоставление полученных в результате измерений временных рядов радиального прироста учетных деревьев ели Шренка между собой, а также с групповой средней хронологией показало наличие значительной асинхронности в колебаниях прироста. Последовательная датировка по разработанной методике позволила установить год формирования каждого годичного кольца. Методической особенностью датировки на этом объекте было отсутствие маркерных колец с патологической структурой. При этом первоначально выбиралась хронология с наиболее широкими кольцами. На ее основе датировалась вторая. Далее рассчитывалось промежуточное среднее и использовалось в дальнейших итерациях. Важную роль в процессе перекрестной датировки играл характерный минимум 1968 года, характерный максимум 1981 года и характерный максимум 1990 года, повторяющиеся у каждой индивидуальной хронологии. Важно отметить, что характерный максимум 1990 года, который ранее наблюдался нами при исследовании деревьев ели Шренка из ГБС РАН, также наблюдается и при исследовании деревьев ели Шренка из Ботанического сада МГУ, что говорит об идентичности, реакции прироста деревьев ели Шренка в г. Москва на условия этого года. Аналогичная процедура была проделана для учетных деревьев ели восточной, что позволило датировать ее хронологии. Климатические причины формирования выпавших годичных колец у ели Шренка в Ботсаду РАН и Ботсаду МГУ были исследованы методом климаграмм (Lovelius, 1997; Румянцев 2010). В итоге анализа следует выделить экстремально теплый январь 2007 года сменившийся экстремально холодным февралем. По-видимому, деревья Шренка вышли из состояния зимнего покоя под воздействием январских оттепелей и затем были повреждены наступившими морозами. Состояние перезимовавших деревьев усугубила засуха в начале вегетационного сезона: осадки апреля, мая, и в особенности июня оказались значительно ниже нормы. Сочетание подобного рода погодных условий резко отрицательно сказалось на состоянии ели Шренка и привело к формированию экстремально узких и выпавших годичных колец в 2007 г., а у отдельных деревьев в 2008, 2009 и 2010 гг. Дендроклиматический анализ роста ели восточной, выполненный методом климаграмм позволил выявить фактор, критически значимый для ее нормального роста – пониженные температуры февраля. Также сильное отрицательное влияние на прирост оказывает недостаток осадков в июле. При выращивании ее на плантации недостаток осадков возможно компенсировать путем орошения. Результаты моделирования динамики температур

февраля и хода роста ели восточной показали, что после 2040 года данный вид может стать перспективным для плантационного разведения в Московском регионе.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Исследование ценопопуляционных норм варьирования GLK в популяциях сосны обыкновенной из Владимирской, Вологодской, Нижегородской областей показало, что массивы значений коэффициента синхронности для всех трех областей при правильной и неправильной датировке составляют две однородные группы, при этом, различия в средних значениях между правильной и неправильной датировкой статистически значимы.
2. Во всех трех исследованных популяциях наблюдается один и тот же закон распределения частот встречаемости значений коэффициента синхронности при неправильной датировке. Это дает возможность построить обобщенный ряд распределения, пригодный для использования на материале популяции сосны обыкновенной на территории Русской равнины.
3. Массивы значений варьирования GLK в популяциях сосны обыкновенной из Владимирской, Вологодской, Нижегородской областей при правильной датировке имеют разные законы распределения, что видимо, обусловлено разной ценопопуляционной структурой анализируемых популяций.
4. Только при искусственно смоделированной неправильной датировке интервал варьирования значений коэффициента синхронности находятся в пределах 0% - 47%. Если принять 5% порог частоты встречаемости, то диапазон этого интервала составит от 0% до 60%.
5. Только при правильной датировке интервал варьирования значений коэффициента синхронности находятся в пределах 76% -100%. Если принять 5% порог частоты встречаемости, то диапазон этого интервала составит от 60% до 100%.
6. Исследование закономерностей фенотипической изменчивости сосны в разных типах леса в пределах зеленомошной группы типов леса зафиксировало их крайне слабое (1-4%) отличие по средним, максимальном и минимальным значениям общей сходимости ряда кривых, что намного меньше наблюдающегося размаха вариации данного показателя в наиболее унифицированных условиях произрастания (в пределах одной пробной площади). Это говорит о допустимости использования данных о фенотипической изменчивости учетных деревьев по данному показателю в пределах зеленомошной группы типов леса в целом.
7. В хронологиях, имеющих многочисленные выпавшие годовые кольца, использование перекрестной датировки на основе расчетов коэффициентов сходства между дендрохронологическими рядами затруднено. Для таких объектов, например, видов хвойных, находящихся на границе возможной интродукции, эффективны следующие приемы: использование в качестве эталонной хронологии индивидуальной хронологии учетного дерева с самыми широкими годовыми кольцами, а не средней групповой хронологии; итерационный поход к формированию эталонной хронологии в ходе датировки в выборке, анализ распределения годовых колец аномальной анатомической структуры; привлечение хронологий по родственным видам и перекрестная датировка по методу скелетных графиков Дугласа с учетом анализа распределения характерных для рода экстремумов прироста.
8. Анализ особенностей роста ели восточной и ели Шренка в ботанических садах

Москвы позволяет дать прогноз особенностей роста данных видов условиях интродукции при определенных сценариях изменения климата. Увеличение зимних температур (снижение морозности зим) положительно скажется на росте ели восточной и может сделать этот вид приемлемым для плантационного разведения в лесных культурах. В то же время повышение зимних температур, сопряженное с увеличением частоты зимних оттепелей, отрицательно скажется на зимостойкости ели Шренка в условиях Московского региона.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи в журналах из списка ВАК

1. Липаткин В.А. Возможности использования дендрохронологической информации при идентификации лесозащитных страт Муромцевского лесничества Владимирской области/ Липаткин Д.Е., Пальчиков С.Б., Румянцев Д.Е., Крылов А.М., **Епишков А.А.** // Вестник Московского Государственного Университета леса – Лесной вестник, №7 (99), 2013. – С.115-121.
2. Румянцев Д.Е. Особенности перекрестной датировки индивидуальных древесно-кольцевых хронологий у видов интродуцентов (на примере ели восточной и ели Шренка в условиях г. Москва) / Румянцев Д.Е., **Епишков А.А.**// Вестник Московского Государственного Университета леса – Лесной вестник, №5, 2014. – С.138-145.
3. Румянцев Д.Е. Биологические основы изменчивости годичных колец/ Румянцев Д.Е., **Епишков А.А.**// Фундаментальные исследования, №2 (часть 3), 2015 –С.481-486
4. Румянцев Д.Е. Статистические закономерности изменчивости временных рядов радиального прироста сосны обыкновенной на территории Русской равнины / Румянцев Д.Е., **Епишков А.А.**, Липаткин В.А., Волкова Г.Л. // Современные проблемы науки и образования, № 5, 2015 (URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=22526> (дата обращения: 06.01.2016).
5. **Епишков А.А.** Дендрозкологическое исследование роста ели Шренка в Ботаническом саду МГУ по данным анализа годичных колец /А.А. Епишков, Д.Е. Румянцев, А.Г. Бойко // Лесной вестник, №5, 2022. – С.31-39.
- 6.**Епишков А.А.** Ель восточная как перспективная порода для плантационного выращивания в Московском регионе /А.А. Епишков, Д.Е. Румянцев// Международный научно-исследовательский журнал.№7 (121),2002, часть 2б, с.110-114
7. 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, 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.
8. Румянцев Д.Е. Оценка возраста культур сосны и подпологового яруса ели в условиях карбонового полигона Фряновского лесничества Московской области / Д.Е. Румянцев, В.В. Киселева, **А.А. Епишков**, А.В. Черакшев, Д.В. Лежнев // Journal of Agriculture and Environment. — 2023. — №10 (38). — URL: <https://jae.cifra.science/archive/10-38-2023-october/10.23649/JAE.2023.38.3> (дата обращения: 20.10.2023). — DOI: 10.23649/JAE.2023.38.3

Статьи индексируемые в Clarivate Web of Science

9. **Epishkov A.A.** Radial growth dynamics in Scots pine forests of the Yalotuwowsky

forest district of Tyumen region / A.A. Epishkov, V.A. Lipatkin, V.A. Frolova, V.M. Sidorenkov, N.S. Vorobyeva, D.E. Rummyantsev // Ecology, Environment and Conservation, Vol 28 (3), 2022, pp. 1252-1251

Статья индексируемые в Scopus

10. Rummyantsev D.E. Dendroclimatic investigation of Caucasian spruce (*Picea orientalis* (L.) Link.) in Moscow Botanical gardens // D.E. Rummyantsev, **A.A. Epishkov**, A.A. Tkacheva-// Forestry Ideas, Vol. 28 (2), 2022, p. 323-333.

Глава монографии

11. Епишков А.А. История развития методических подходов к перекрестной датировке временных рядов радиального прироста. /**Епишков А.А.**, коллектив авторов// География: традиции и инновации в науке и образовании. Коллективная монография по Материалам Международной научно-практической конференции LXVII Герценовские чтения посвященной 110 –летию со дня рождения Александра Михайловича Архангельского. Санкт-Петербург: РГПУ им. А.И. Герцена, 2014 – С. 51-56.

Статьи в иных журналах и сборниках научных трудов, материалы конференций

12. Ловелиус Н.В. Извержения вулканов, метеорологические условия и рост древесных растений на Камчатке/Ловелиус Н.В., Дмитриев В.Д., Румянцев Д.Е., **Епишков А.А.**//Геология, геоэкология, эволюционная география. СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2011 – С.102-104

13.Ловелиус Н.В. Дендроиндикация изменения климата Камчатки. /Ловелиус Н.В., Дмитриев В.Д., Румянцев Д.Е., **Епишков А.А.**, Казанцева Е.И.//Материалы XXIX Крашенинниковских чтений «О Камчатке: ее пределах и состоянии...». Петропавловск-Камчатский, 2012 – С. 157-160.

14. Липаткин В.А. Итоги и перспективы разработки технологии идентификации места происхождения древесины на основе дендрохронологической информации./ Липаткин В.А., Пальчиков С.Б., Румянцев Д.Е., Крылов А.М., Жаворонков Ю.М., Уткина Е.С., **Епишков А.А.**, Доставалов Е.А., Черакшев А.В., Владимирова Д.В.// Материалы международной научной конференции «Дендро 2012:Перспективы применения древесно-кольцевой информации для целей охраны, воспроизводства и рационального использования древесной растительности». Москва: МГУЛ, 2013 – С. 47-49.

15. Епишков А.А. Изменчивость радиального прироста рассеяннососудистых древесных пород в условиях Елизовского лесничества Камчатского края. /**Епишков А.А.**// Материалы международной научной конференции «Дендро2012: Перспективы применения древесно-кольцевой информации для целей охраны, воспроизводства и рационального использования древесной растительности». Москва: МГУЛ, 2013 – С. 30-31.

16.Епишков А.А. Особенности формирования годичных колец у деревьев (*Picea Schrenkiana*) произрастающих в условиях ГБС РАН (г. Москва). /**Епишков А.А.**// Материалы XXI Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов - 2014». Москва: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2014 – С. 73-74.

17. Румянцев Д.Е. Частота встречаемости коэффициента синхронности в ценопопуляциях сосны обыкновенной из Вологодской, Владимирской и Нижегородской областей. /Румянцев Д.Е., **Епишков А.А.**, Черакшев А.В.// Материалы Всероссийской конференции «Биологические аспекты распространения

адаптации и устойчивости растений». Саранск: МГУ им. Н.П. Огарева, 2014 – С. 175-177.

18. Румянцев Д.Е. Значение дендрохронологических экспертиз. / Румянцев Д.Е., **Епишков А.А.**, Черакшев А.В.// Международный журнал экспериментального образования №2 (часть 2), Москва, 2015 – с.128.

19. Rumiantsev D.E. The description of the method to identify a place of timber origin on the basis of dendrochronological information/ Runmianchev D.E., Lipatkin V.A., **Epishkov A.A.**, Cherakshev A.V.// European Journal of Natural History, №1, 2015 -С.33а

20. **Епишков А.А.** Совершенствование методических подходов к перекрестной датировке временных рядов радиального прироста в дендрологических исследованиях. /**Епишков А.А.**// Материалы XXII Международной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «Ломоносов - 2015». Москва: МГУ им. М.В. Ломоносова, 2015 – С. 78-79.

21. **Епишков А.А.** Диагностика времени прекращения камбиальной активности в стволе дерева /А.А. Епишков// Материалы IX Всероссийской научно-практической конференции «Лесозэксплуатация и комплексное использование древесины», Красноярск: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева", 2022, с.40-42.

22. **Епишков А.А.** Датировка выпавших годовых колец у южных видов елей в условиях интродукции в Ботанических садах Москвы /А.А. Епишков // Материалы ежегодной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава МФ МГТУ им. Н.Э.Баумана. М.: МФ МГТУ, 2022 – с. 32.

23. Румянцев Д.Е. Влияние лесотипологического фактора на изменчивость коэффициентов синхронности древесно-кольцевых хронологий сосны обыкновенной в условиях Муромцевского участкового лесничества Владимирской области /Д.Е. Румянцев, **А.А. Епишков** // Сельское хозяйство. — 2022. - № 1. - С.37-53.

24. **Епишков А.А.** Изменчивость в ценопопуляциях сосны обыкновенной по признаку синхронности древесно-кольцевых хронологий /А.А. Епишков // Актуальные проблемы развития лесного комплекса: материалы XXI Международной научно-технической конференции / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Вологодский государственный университет, Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина, Правительство Вологодской области, Департамент лесного комплекса Вологодской области. – Вологда: ВоГУ, 2023. – с.386-389

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