ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ИНСТИТУТ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ БОТАНИКИ
ИМЕНИ В. Ф. КУПРЕВИЧА НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ
НАУК БЕЛАРУСИ»

Объект авторского права
УДК 343.983.7:58.002

ХОХ
Анна Николаевна

ОБЪЕКТЫ РАСТИТЕЛЬНОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ КАК ИСТОЧНИК ДОКАЗАТЕЛЬСТВЕННОЙ ИНФОРМАЦИИ В СУДЕБНОЙ ЭКСПЕРТИЗЕ (НА ПРИМЕРЕ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ)

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

по специальности 12.00.16 – судебно-экспертная деятельность

Минск, 2026

Научная работа выполнена в государственном учреждении «Научно-практический центр Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь», учреждении образования «Международный государственный экологический институт имени А. Д. Сахарова» Белорусского государственного университета.

Научный руководитель: **Звягинцев Вячеслав Борисович**
кандидат биологических наук, доцент

Официальные оппоненты: **Данченко Елена Олеговна**
доктор медицинских наук, профессор, государственный медицинский судебный эксперт-химик отдела судебно-химических экспертиз управления лабораторных исследований вещественных доказательств биологического характера управления Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь по Витебской области

Вознячук Ирина Петровна
кандидат биологических наук, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории оптимизации и мониторинга экосистем государственного научного учреждения «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси»

Оппонирующая организация: Государственное научное учреждение «Институт леса Национальной академии наук Беларуси»

Защита диссертации состоится «17» июля 2026 г. в 14:00 на заседании совета по защите диссертаций Д 01.38.01 в государственном научном учреждении «Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича Национальной академии наук Беларуси» по адресу: 220072, г. Минск, ул. Академическая, 27.
E-mail: info@botany.by; тел./факс (+37517) 322-18-53.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Якуба Коласа Национальной академии наук Беларуси.

Автореферат разослан «15» июня 2026 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат биологических наук, доцент Е. Я. Куликова

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время отмечается рост количества назначаемых судебных экспертиз, требующих исследования объектов растительного происхождения (ОРП). Благодаря стремительному развитию методологии и техники экспертных исследований открывается возможность увеличения информативной ценности этих природных материалов. Среди ОРП, поступающих на судебно-экспертное исследование, наиболее часто встречаются древесина и хвоя сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), являющейся наиболее распространенным древесным видом в лесном фонде Республики Беларусь. При этом в экспертной практике в основном применяются классические описательные методы, основанные на определенных таксономических градациях, в связи с чем в ряде случаев решить экспертные задачи по диагностике вида, места произрастания, выявлению фактов фальсификации режимов и способов обработки древесины, оценке антропогенного воздействия на ОРП зачастую не представляется возможным из-за дефицита идентификационных признаков. На современном этапе сформированы все условия для активизации исследований по разработке нового научно-методического инструментария проведения различных видов (подвидов) судебных экспертиз (Швед, 2020). Однако, несмотря на значительное количество разноплановых работ белорусских ученых естественно-научного направления (Головченко, 2022; Ермохин, 2020; Поплавская, 2021; Пугачевский, 2020; Судник, 2025), информационный потенциал сосны обыкновенной с точки зрения практической деятельности судебных экспертов в Беларуси до сих пор не реализован, что и обусловливает выбор темы данного диссертационного исследования, а также ее актуальность и практическую значимость. Комплексный подход к объекту исследования за счет сочетания различных методов и приемов анализа позволил получить новые результаты в рассматриваемой предметной области.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами (проектами), темами. Диссертационная работа выполнена в рамках следующих научно-исследовательских работ: задание 3.2.01 «Разработка новых подходов к исследованию объектов растительного происхождения при проведении судебно-экспертных исследований» (2016–2019 гг., ГПНИ «Информатика, космос и безопасность», подпрограмма «Научное обеспечение безопасности человека, общества и государства», № ГР 20160444); «Разработка методических рекомендаций по исследованию лесоматериалов дендрохронологическим методом в судебно-биологической экспертизе» (2015 г., № ГР 20150383); «Разработка автоматизированного рабочего места по обработке

дендрохронологической информации, используемой при производстве экспертиз объектов растительного происхождения» (2016 г., № ГР 20160449); «Разработка методических рекомендаций по проведению дендрохронологических экспертных исследований с помощью АРМ "DendroExp"» (2017 г., № ГР 20170244); «Разработка методики экспертного исследования древесины, древесных материалов и изделий на основе спектроскопии с использованием хемометрических алгоритмов анализа» (2019–2020 гг., № ГР 20190194); «Разработка справочно-методического пособия по установлению степени снижения качества (износа) строительных лесоматериалов и изделий при проведении судебных товароведческих экспертиз» (2021–2023 гг., № ГР 20210151).

Тематика диссертационной работы соответствует п. 6 «Обеспечение безопасности человека, общества и государства» Перечня приоритетных направлений научной, научно-технической и инновационной деятельности на 2021–2025 гг., утвержденного Указом Президента Республики Беларусь от 7 мая 2020 г. № 156.

Цель и задачи исследования. Цель исследования – научно обосновать и разработать систему мероприятий по повышению эффективности судебно-экспертных исследований объектов растительного происхождения (на примере сосны обыкновенной).

Для достижения указанной цели были поставлены и решены следующие задачи:

1) разработать научно-методический и алгоритмический инструментарий дендрохронологической экспертизы;

2) оценить возможность использования спектроскопии в ближней инфракрасной области (БИК) для установления (подтверждения) видовой принадлежности древесины и выявления фактов фальсификации режимов ее обработки при термической модификации;

3) установить тенденции изменчивости аномалий структуры годичных колец и элементного состава ксилемы сосны обыкновенной в зависимости от специфики почвенно-гидрологических условий произрастания;

4) выявить географическую изменчивость морфолого-анатомических параметров и спектральных характеристик ксилемы сосны обыкновенной в условиях Беларуси;

5) провести сравнительный анализ морфолого-анатомических параметров и спектральных характеристик хвои сосны обыкновенной для оценки состояния сосновых насаждений в городской среде и их устойчивости к совокупному воздействию негативных антропогенных факторов.

Объект и предмет исследования. Объект исследования – сосна обыкновенная как элемент материальной обстановки события правонарушения (преступления).

Предмет исследования – морфолого-анатомические параметры, элементный состав и спектральные характеристики ксилемы и хвои сосны обыкновенной из разных мест и условий произрастания.

Научная новизна.

Впервые для территории Республики Беларусь на основании выявленных закономерностей прироста поздней древесины и спектральных характеристик в ближней инфракрасной области разработано районирование сосняков мшистых.

Впервые в условиях Республики Беларусь научно обоснованы и внедрены в практику государственных судебно-экспертных организаций дендрохронологические методы.

Впервые в Республике Беларусь доказана принципиальная возможность решения экспертных задач по установлению (подтверждению) видовой принадлежности древесины и выявлению фактов фальсификации термически модифицированной древесины с использованием метода БИК-спектроскопии и целенаправленно выбранных алгоритмов хемометрического анализа.

Обнаружена связь аномалий структуры и элементного состава годичных колец сосны обыкновенной с почвенно-грунтовыми условиями, а длины трахеид – с географической широтой местопроизрастания.

Предложена комплексная биоиндикационная методика оценки состояния сосновых насаждений в городской среде на основе сопряженного анализа билатеральных, морфолого-анатомических и спектральных параметров хвои.

Положения, выносимые на защиту.

1. Для сосняков мшистых, произрастающих на территории Беларуси, выделены 3 района и 11 подрайонов, дендрохронологически однородных по приросту поздней древесины. Составленные для подрайонов региональные res-хронологии позволяют осуществлять привязку образцов к конкретному местопроизрастанию с точностью (89,1 ± 7,6) %. В ходе опытной эксплуатации автоматизированного рабочего места (АРМ) «DendroExp» установлено, что его использование для дендрохронологической экспертизы на примере древесины сосны обыкновенной позволило сократить сроки проведения одной экспертизы в среднем в 1,7 раза, а время выполнения измерений параметров радиального прироста – в среднем в 5 раз.

2. Метод БИК-спектроскопии в сочетании с результатами хемометрического анализа подходит для решения экспертных задач по установлению (подтверждению) видовой принадлежности древесины и фактов фальсификации при ее термической модификации. Точность многообъектной классификации сосны обыкновенной по сравнению с другими широко распространенными хвойными породами составила (98,6 ± 1,8) % для обучающих выборок и (96,5 ± 3,4) % для тестовых; точность бинарной классификации – (99,8 ± 0,1) % для обучающих выборок и (99,7 ± 0,2) % для тестовых. Точность многообъектной

классификации при несоответствии фактического времени термической модификации заявленному составила (96,6 ± 2,0) % для обучающих выборок и (95,1 ± 1,2) % для тестовых; точность бинарной классификации при сравнении технологий модификации – (95,1 ± 2,2) % для обучающих выборок и (94,8 ± 2,3) % для тестовых.

3. Аномалии структуры годичных колец и элементный состав ксилемы сосны обыкновенной характеризуются изменчивостью в зависимости от почвенно-гидрологических условий произрастания. Количество аномалий в сосняках багульниковых в 3,3 раза выше, чем в сосняках мшистых. С ухудшением условий по богатству почвы и увлажнению – от сосняков по суходолу к соснякам по болоту – наблюдаются увеличение количества выпавших годичных колец, уменьшение содержания Ca, K, Mn и увеличение содержания Pb, Rb, Sr, Zn в древесине.

4. Дифференциация сосняков мшистых по БИК-спектрам ксилемы позволила выделить на территории Беларуси 6 однородных районов произрастания. Разработанная классификационная модель обеспечивает определение регионального происхождения с точностью (94,6 ± 2,3) % для обучающей выборки и (93,6 ± 3,4) % для тестовой. Длина трахеид деревьев в сосняках мшистых зависит от географического происхождения: в южных районах ранние и поздние трахеиды в среднем в 1,2 раза длиннее, чем в северных.

5. Хвоя сосны обыкновенной в условиях урбанизированной среды характеризуется широким диапазоном значений индекса флуктуирующей асимметрии (от 2 до 6). С ростом антропогенной нагрузки уменьшаются длина и площадь поверхности хвои в среднем в 1,2 раза, длина и ширина устьиц – в среднем в 1,1 раза, тогда как диаметр и количество смоляных каналов увеличиваются в среднем в 1,1 раза. Использование БИК-спектроскопии в сочетании с алгоритмами хемометрического анализа обеспечивает получение достоверной информации о степени антропогенной нагрузки: точность разработанной классификационной модели составила (85,4 ± 2,7) % для обучающей выборки и (84,1 ± 1,8) % для тестовой.

Личный вклад соискателя ученой степени. Соискателем собраны и проанализированы научные источники по теме диссертации, получены экспериментальные данные, выполнен их анализ, проведена статистическая обработка и интерпретация. Соискатель также принимал участие в разработке структуры, категорий учета и научно-методического обеспечения АРМ «DendroExp», его апробации и опытной эксплуатации. Тема, цель и задачи исследования сформулированы совместно с научным руководителем – кандидатом биологических наук, доцентом В. Б. Звягинцевым. Из совместно опубликованных работ в диссертацию включены результаты, полученные соискателем лично или в соавторстве. Автором единолично опубликовано 14 работ [6–А; 7–А; 10–А; 11–А;

12–А; 14–А; 16–А; 17–А; 18–А; 19–А; 20–А; 21–А; 22–А; 23–А]. В публикациях [25–А; 26–А] личный вклад соискателя составляет 60 %, в публикациях [27–А; 28–А; 29–А; 30–А] – 70 %, в публикациях [1–А; 2–А; 3–А; 4–А; 5–А; 8–А; 9–А; 13–А; 15–А; 24–А] – 80–90 %.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Результаты, полученные при выполнении диссертационного исследования, представлены и обсуждены на следующих конференциях: XVI–XIX Международных научных конференциях «Сахаровские чтения: экологические проблемы XXI века» (Минск, 2016–2019); XIII Международной научно-практической конференции «Криминалистика и судебная экспертология: наука, обучение, практика» (Паланга, 2017); Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы судебно-экспертной деятельности. Современные проблемы, тенденции и перспективы развития криминалистики и судебной экспертизы» (Ереван, 2019); научно-практической конференции «Актуальные проблемы судебной экспертизы в Узбекистане и их научно-инновационные решения» (Ташкент, 2022); Международной дендрохронологической конференции «РусДендро-2023» (Воронеж, 2023); III Международной научно-практической конференции «Судебная экспертиза: теория и практика в современных условиях» (Минск, 2023); Международной научно-технической конференции «Экология и техносферная безопасность» (Сочи, 2024); XV Национальной научно-практической конференции (с международным участием) «Экологические чтения – 2024» (Омск, 2024); научно-практической конференции с международным участием «Национальные и международные тенденции и перспективы развития судебной экспертизы» (Нижний Новгород, 2024); 7-м экологическом саммите «Eco-Civilization for a Sustainable and Desirable Future» (Чжэнчжоу, 2024).

Опубликование результатов диссертации. По теме диссертационного исследования опубликовано 30 работ (общий объем – 33,48 авторских листа): 11 статей в изданиях, соответствующих части первой п. 19 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь; 6 статей в других изданиях; 7 публикаций в сборниках материалов научных конференций; 6 методических материалов в сфере судебно-экспертной деятельности.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из перечня сокращений и обозначений, введения, общей характеристики работы, семи глав, заключения, списка использованных источников и приложения. Полный объем диссертации составляет 192 с., из которых основной текст занимает 94 с. Работа включает 40 таблиц и 71 рисунок. Список использованных источников содержит 230 наименований на 22 с., в том числе 134 – на иностранных языках.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

В главе 1 «Судебно-экспертные исследования объектов растительного происхождения» проанализированы методы, научные подходы и технологии, применяемые в мировой и отечественной практике при проведении судебно-экспертных и ряда научных исследований ОРП, главным образом древесины и хвои сосны обыкновенной; оценены их распространенность и эффективность при решении экспертных задач. Установлено, что, несмотря на значительный объем накопленных научных данных, вопросы формирования комплексного научно-методического обеспечения исследования ОРП в судебно-экспертной деятельности остаются недостаточно разработанными.

Глава 2 «Материалы и методы исследования». В работе использован экспериментальный материал (буровые керны, образцы хвои) сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), собранный в ходе полевых исследований в 2016–2023 гг. на территории Беларуси. Дополнительно использованы эталонные образцы древесины хвойных пород из ксилотеки учреждения образования «Белорусский государственный технологический университет», а также экспертный материал (спилы, фрагменты спилов, пиломатериалы), предоставленный инициаторами назначения судебных экспертиз или отобранный в ходе экспертного осмотра. С помощью дендрохронологического метода решались задачи датирования древесного материала, установления групповой принадлежности, места произрастания и взаимной принадлежности частей дерева. Метод световой микроскопии применялся для изучения аномалий структуры годичных колец, а также морфолого-анатомических параметров хвои и трахеид. Рентгенофлуоресцентный анализ использовался для определения элементного состава древесины. БИК-спектроскопия применялась для видовой дифференциации древесины, оценки термической модификации и анализа хвои.

Статистическая обработка данных проводилась с использованием программ The Unscrambler X v.10.4.1, Microsoft Excel v.10.0 с надстройкой ExStatR, SPSS v.22.0 и Statistica v.10.0. Количественные данные анализировали методами описательной статистики. Для оценки распределения применяли *W*-критерий Шапиро – Уилка. При нормальном распределении для сравнения двух независимых выборок использовали *t*-критерий Стьюдента, трех и более независимых выборок – однофакторный дисперсионный анализ (ANOVA). При отклонении от нормальности применяли *U*-критерий Манна – Уитни (для двух независимых выборок), *W*-критерий Вилкоксона (для двух зависимых выборок) и *H*-критерий Краскела – Уоллиса (для трех и более независимых выборок). Различия считали статистически значимыми при $p < 0{,}05$. Классификацию выполняли с использованием кластерного анализа и метода главных компонент. Модели строили с применением линейного дискриминантного анализа (ЛДА),

дискриминантного анализа с помощью регрессии на латентные структуры (ПЛС-ДА) и формального независимого моделирования аналогий классов (SIMCA).

Структура исследования представлена на рисунке 1.

Этап исследования	Материалы исследования	Методы исследования
Оценка качества и скорости измерения ширины годичных колец с помощью АРМ «DendroExp»	10 буровых кернов с 10 деревьев сосны обыкновенной	Дендрохронологический метод
Сравнительный анализ времени проведения дендрохронологической экспертизы с использованием АРМ «DendroExp»	23 круговых поперечных спила и 26 буровых кернов с 26 деревьев сосны обыкновенной	Дендрохронологический метод
Установление календарного года (сезона) рубки группы деревьев	34 круговых поперечных спила и 26 буровых кернов с 26 деревьев сосны обыкновенной	Дендрохронологический метод
Установление групповой принадлежности и местопроизрастания	36 круговых поперечных спилов сосны обыкновенной	Дендрохронологический метод
Установление взаимной принадлежности при отсутствии общих линий разделения между отдельными частями дерева	2 круговых поперечных спила сосны обыкновенной	Дендрохронологический метод
Выделение районов произрастания сосняков мшистых по различным показателям	3756 буровых кернов с 1878 деревьев сосны обыкновенной со 106 временных пробных площадей (ВПП), заложенных по всей территории Беларуси	Дендрохронологический метод, БИК-спектроскопия
Установление (подтверждение) видовой принадлежности древесины с использованием многообъектной и бинарной классификации	70 брусков сосны обыкновенной, 50 брусков сосны сибирской кедровой, 41 брусок лиственницы европейской, 49 брусков пихты белой, 50 брусков ели обыкновенной	БИК-спектроскопия
Установление (подтверждение) фактов фальсификации древесины при термической модификации	480 образцов пиломатериалов сосны обыкновенной, прошедших различную по времени термообработку; 120 образцов пиломатериалов сосны обыкновенной, изготовленных по технологиям «Thermowood» и «Вакуум плюс»	БИК-спектроскопия
Сравнительный анализ аномалий структуры годичных колец в сосняках мшистых и багульниковых	960 буровых кернов с 480 деревьев сосны обыкновенной с 12 ВПП, заложенных на территории Брестской области Беларуси	Метод световой микроскопии
Сравнительный анализ элементного состава ксилемы в зависимости от условий местопроизрастания и фазы вегетации (на примере сосняков различных типов: верескового, мшистого, орлякового, кисличного, долгомошного, багульникового и сфагнового)	350 буровых кернов с 175 деревьев сосны обыкновенной с 7 ВПП, заложенных на территории ГПУ «Березинский биосферный заповедник»	Рентгенофлуоресцентный анализ
Сравнительный анализ длины трахеид сосняков мшистых разного географического происхождения	160 буровых кернов с 160 деревьев сосны обыкновенной с 16 ВПП, заложенных в северных и южных районах Беларуси	Метод световой микроскопии (мацерация)
Оценка устойчивости морфолого-анатомических и спектральных параметров хвои к совокупному воздействию негативных антропогенных факторов	12 000 пар хвоинок второго года жизни сосны обыкновенной с 400 деревьев с 20 пунктов отбора в Минске	Метод световой микроскопии (тонкие срезы), БИК-спектроскопия

Рисунок 1 – Основные этапы, материалы и методы исследования

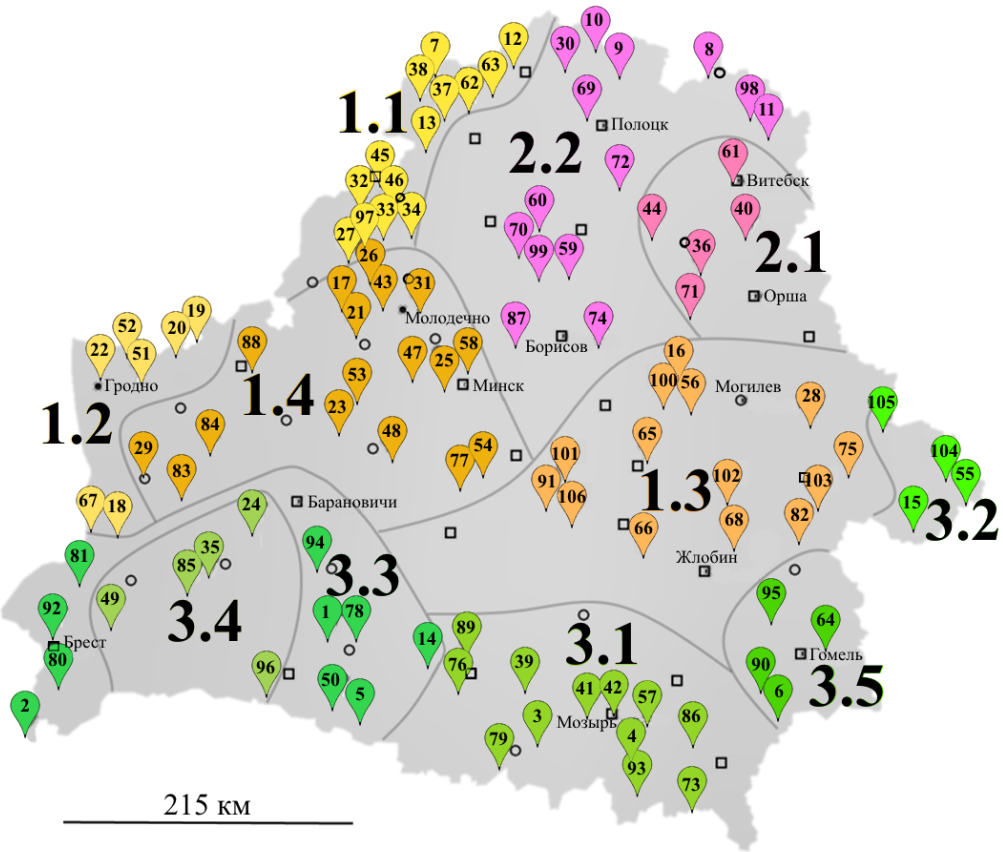
Глава 3 «Методологические основы использования дендрохронологической информации в экспертной практике».

Автоматизированное рабочее место «DendroExp» и оценка его эффективности. С учетом особенностей проведения дендрохронологической экспертизы сформулированы требования, определены структура и состав категорий учета АРМ «DendroExp», разработаны алгоритмы решения экспертных задач, включая выявление календарного года (сезона) рубки группы деревьев, определение групповой принадлежности и места произрастания, а также установление взаимной принадлежности отдельных частей дерева при отсутствии общих линий разделения между ними [12–А; 13–А; 14–А; 18–А; 23–А; 25–А; 26–А; 27–А; 30–А].

Для оценки качества измерений ширины годичных колец в АРМ «DendroExp» проведено сравнение точности и скорости получения древесно-кольцевых хронологий (ДКХ) с использованием измерительного комплекса LINTAB 6 (RINNTECH, Германия), по отсканированным изображениям с помощью программы MCview (LOMO-Microsystems, РФ) и микроскопа МБС-10 (ЛОМО, РФ) с окуляр-микрометром. Установлено, что все способы измерения дают сопоставимые результаты. Различия между проведенными замерами во всех случаях статистически незначимы ($p > 0{,}05$). В результате сравнительного анализа полученных ДКХ отмечены высокие значения коэффициентов корреляции (> 0,85) и синхронности (> 95 %), $t_{ДКХ}$-критерия (> 12), что свидетельствует о высокой степени сходства ДКХ, полученных различными способами. Сравнительный анализ времени измерения параметров радиального прироста показал, что использование АРМ «DendroExp» позволяет сократить время расчетов в (4,0 ± 1,4) раза по сравнению с LINTAB 6, в (4,3 ± 1,6) раза по сравнению с MCview и в (6,8 ± 1,7) раза по сравнению с МБС-10.

Сравнительный анализ времени проведения одной дендрохронологической экспертизы показал, что использование АРМ «DendroExp» позволяет сократить сроки в (1,9 ± 0,4) раза при установлении взаимной принадлежности частей дерева и в (1,6 ± 0,2) раза при датировании древесного материала с точностью до полугода. В среднем сроки проведения одной экспертизы сокращаются в 1,7 раза независимо от количества исследуемых объектов и решаемых задач [15–А; 23–А].

Геоэкологические детерминанты прироста поздней древесины сосняков мшистых в условиях Беларуси. Сравнительный анализ динамики прироста поздней древесины на 106 временных пробных площадях (ВПП) за 115-летний период (1900–2015 гг.) позволил выделить на территории Республики Беларусь 3 района и 11 подрайонов; для подрайонов построены региональные res-хронологии (рисунок 2).



□ – действующие метеостанции; ○ – не действующие метеостанции по состоянию на 11.03.2024 г.

Рисунок 2 – Однородные подрайоны произрастания сосняков мшистых, характеризующиеся сходной динамикой прироста поздней древесины (разделение осуществлено по результатам кластерного анализа)

Взаимная корреляция локальных хронологий в выделенных подрайонах оказалась достаточно высокой (0,53–0,66), синхронность изменяется от 70 до 85 %, поэтому можно говорить о том, что во всех ДКХ содержится общий для подрайона климатический сигнал. При этом региональные ДКХ показывают невысокий коэффициент чувствительности (0,11–0,14), поскольку погодно-климатические показатели в регионе исследования очень редко выходят за пределы оптимальных значений для роста сосны. При этом установлено, что res-хронологии северных районов Беларуси характеризуются более высокой чувствительностью к внешним факторам по сравнению с южными (в 1,2 раза), что свидетельствует о большей степени их подверженности влиянию климатических факторов.

Выявленные взаимосвязи между температурой и осадками за период с сентября предыдущего по сентябрь текущего года и приростом поздней древесины для региональных res-хронологий находятся на уровне низкой ($0{,}05 \geq p > 0{,}01$), реже на уровне средней ($0{,}01 \geq p > 0{,}001$) статистической значимости. Данный факт подтверждает отсутствие на территории Беларуси резко выраженных внешних факторов, лимитирующих прирост в условиях нормальной влагообеспеченности почв [8–А; 24–А].

Экспериментально установлено, что в ряде случаев ДКХ, построенные по ширине поздней древесины, демонстрируют большую информативность, чем ДКХ, построенные по общей ширине годичных колец. Средняя точность проведенного дендрохронологического районирования составила (89,1 ± 7,6) % [10–А].

Глава 4 «Установление (подтверждение) видовой принадлежности древесины и фактов фальсификации при ее термической модификации методом ближней инфракрасной спектроскопии».

Сравнительный анализ спектров ближней инфракрасной области древесины хвойных пород с использованием линейного дискриминантного анализа. По результатам многообъектной классификации с использованием ЛДА с учетом пятиблочной перекрестной проверки установлено, что древесина сосны обыкновенной достоверно отличается от других хвойных пород. Для обучающих выборок (220 БИК-спектров после вычисления вторых производных) доля правильно классифицированных наблюдений составила: для сосны обыкновенной – (99,7 ± 0,8) %, лиственницы европейской – (97,1 ± 3,1) %, пихты белой – (96,2 ± 1,3) %, сосны кедровой сибирской и ели обыкновенной – 100 %. Для тестовых выборок (104 БИК-спектра после вычисления вторых производных) доля правильно классифицированных наблюдений составила: для сосны обыкновенной – (96,0 ± 4,0) %, лиственницы европейской и пихты белой – (93,3 ± 4,6) %, сосны кедровой сибирской и ели обыкновенной – 100 %. Средняя точность классификации составила (98,6 ± 1,8) % для обучающих выборок и (96,5 ± 3,4) % для тестовых [7–А; 29–А].

Сравнительный анализ спектров ближней инфракрасной области древесины хвойных пород с использованием дискриминантного анализа проекций на латентные структуры. По результатам бинарной классификации с использованием ПЛС-ДА с учетом пятиблочной перекрестной проверки установлено, что для обучающих выборок (110 БИК-спектров после вычисления вторых производных) доля правильно классифицированных наблюдений составила: для пары «сосна обыкновенная – сосна кедровая сибирская» – (99,8 ± 0,5) %, «сосна обыкновенная – лиственница европейская» – (99,98 ± 0,14) %, «сосна обыкновенная – пихта белая» – (99,95 ± 0,23) %, «сосна обыкновенная – ель обыкновенная» – (99,6 ± 0,6) %. Для тестовых выборок (44 БИК-спектра после вычисления вторых производных) доля правильно классифицированных наблюдений составила: для пары «сосна обыкновенная – сосна кедровая сибирская» – (99,6 ± 0,4) %, «сосна обыкновенная – лиственница европейская» – (99,97 ± 0,11) %, «сосна обыкновенная – пихта белая» – (99,9 ± 0,2) %, «сосна обыкновенная – ель обыкновенная» – (99,5 ± 0,5) %. Средняя точность составила (99,8 ± 0,1) % для обучающих выборок и (99,7 ± 0,2) % для тестовых [7–А; 29–А].

Таким образом, для многообъектной классификации (сравнение нескольких древесных пород) применяется ЛДА, а для бинарной – ПЛС-ДА, когда требуется подтвердить или опровергнуть один из двух заранее заданных вариантов.

Сравнительный анализ спектров ближней инфракрасной области термически модифицированных образцов древесины сосны обыкновенной, прошедших различную по времени термообработку, с использованием формального независимого моделирования аналогий классов. Выявлено, что температурные режимы термической модификации древесины сосны могут быть идентифицированы по БИК-спектрам после их нормализации (центрирование и масштабирование, SNV-коррекция) с использованием SIMCA. Средняя точность классификации составила для обучающих выборок (320 БИК-спектров): (97,6 ± 0,8) % – для 120 °С, (94,4 ± 2,2) % – для 150 °С, (95,6 ± 1,0) % – для 200 °С, (98,8 ± 1,0) % – для 220 °С; для тестовых выборок (160 БИК-спектров): (96,0 ± 1,9) % – для 120 °С, (94,0 ± 2,8) % – для 150 °С, (94,2 ± 3,2) % – для 200 °С, (96,2 ± 1,8) % – для 220 °С. Средняя точность многообъектной классификации при фальсификации заявленного времени составила (96,6 ± 2,0) % для обучающих выборок и (95,1 ± 1,2) % для тестовых [16–А; 17–А; 29–А].

Сравнительный анализ спектров ближней инфракрасной области термически модифицированных образцов древесины сосны обыкновенной, изготовленных по технологиям «Thermowood» и «Вакуум плюс», с использованием дискриминантного анализа проекций на латентные структуры. Визуализация БИК-спектров показала четкую разницу между образцами, изготовленными по технологиям «Thermowood» и «Вакуум плюс», неотличимыми по цветовым характеристикам, что предопределяет возможность их дифференциации даже по общему виду БИК-спектров (рисунок 3).

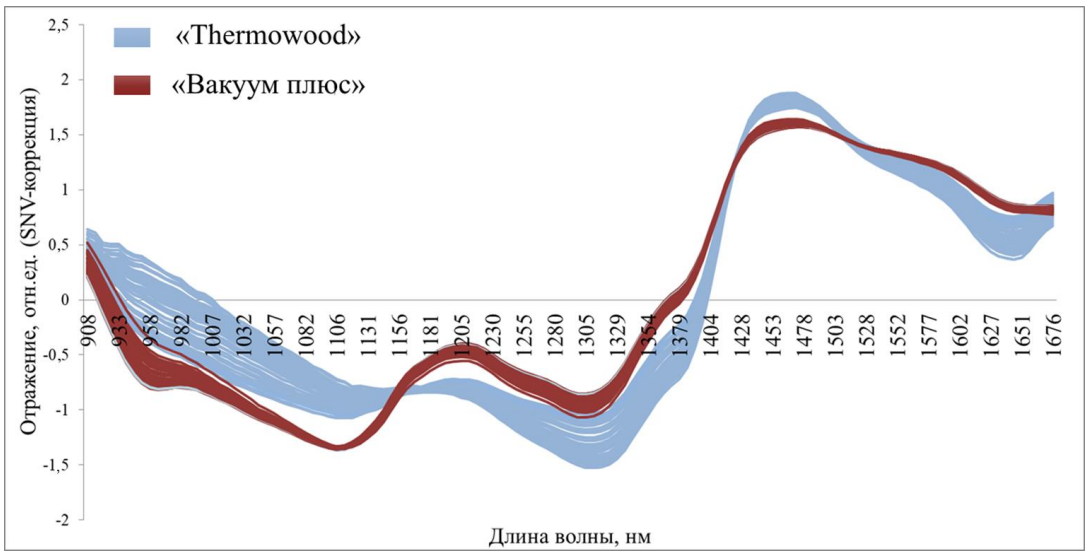


Рисунок 3 – Общий вид БИК-спектров модифицированной древесины, полученной по технологиям «Thermowood» и «Вакуум плюс»

Средняя точность бинарной классификации с использованием ПЛС-ДА после SNV-коррекции с применением пятиблочной перекрестной проверки составила

(95,1 ± 2,2) % для обучающих выборок и (94,8 ± 2,3) % для тестовых [17–А; 29–А].

Следовательно, использование БИК-спектроскопии в сочетании с предложенными методами статистической обработки позволяет достоверно диагностировать параметры и технологию получения термодревесины.

Глава 5 «Дифференциация условий местопроизрастания сосняков на основе анализа аномалий структуры годичных колец и элементного состава ксилемы».

Сравнительный анализ аномалий структуры годичных колец сосны обыкновенной в сосняках мшистых и багульниковых. Микроскопические исследования буровых кернов из комлевой части стволов сосны позволили выявить 6 наиболее распространенных типов аномалий. В древесине сосняков багульниковых их встречаемость в 3,3 раза выше, чем в древесине сосняков мшистых (таблица 1).

Таблица 1 – Количественное распределение аномалий структуры годичных колец и суммарные частоты их встречаемости на ВПП

Типы аномалий	Сосняк мшистый						Сосняк багульниковый					
	Номер ВПП											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
IADF L	26	26	23	36	20	24	40	60	65	39	51	37
U-критерий = 36; *p*-значение = **0,002**												
IADF L^+	14	12	5	–	8	6	21	35	16	11	22	19
U-критерий = 34; *p*-значение = **0,009**												
IADF E	5	3	–	2	4	5	14	19	10	–	5	6
U-критерий = 29,5; *p*-значение = 0,065												
IADF E^+	4	–	–	–	5	1	5	17	7	12	11	8
U-критерий = 35,5; *p*-значение = **0,002**												
F	13	6	–	–	3	6	29	19	31	16	28	36
U-критерий = 36; *p*-значение = **0,002**												
M	6	2	–	–	2	–	39	46	38	26	34	19
U-критерий = 36; *p*-значение = **0,002**												
Итого, n_x	68	49	28	38	42	42	148	196	167	104	151	125
U-критерий = 36; *p*-значение = **0,002**												
F_{rel}	1,9	1,4	0,8	1,1	1,2	1,2	4,1	5,4	4,6	2,9	4,2	3,5
U-критерий = 0,0001; *p*-значение = **0,002**												
F_{stab}	1,1	0,8	0,5	0,6	0,7	0,7	2,5	3,3	2,8	1,7	2,5	2,1
U-критерий = 36; *p*-значение = **0,002**												

Примечание – IADF L – флуктуации плотности с формированием в пределах поздней древесины слоя ранних трахеид; IADF L^+ – флуктуации плотности с постепенным переходом от ранних трахеид к поздним; IADF E – флуктуации плотности с формированием в пределах ранней древесины слоя поздних трахеид; IADF E^+ – флуктуации плотности с постепенным переходом от поздних трахеид к ранним; f – морозобойное годичное кольцо; m – выпавшее годичное кольцо; F_{rel} – частота встречаемости аномалий; F_{stab} – стабилизированная частота встречаемости аномалий; жирным шрифтом выделены достоверные различия.

Флуктуации плотности поздней древесины составляют 75 % в сосняках мшистых (тип IADF L – 58 %, тип IADF L^+ – 17 %) и 47 % в сосняках багульниковых (тип IADF L – 33 %, тип IADF L^+ – 14 %). Флуктуации плотности ранней древесины составляют 11 % (тип IADF E – 7 %, тип IADF E^+ – 4 %) и 13 % (тип IADF E – 6 %, тип IADF E^+ – 7 %) соответственно. Морозобойные кольца (f) составляют 10 и 18 % соответственно, выпавшие годичные кольца (m) – 4 и 23 % соответственно, F_{rel} – 1,3 и 4,1, F_{stab} – 0,7 и 2,5 соответственно. В целом доминирующим типом аномалий в обоих типах леса является IADF L (рисунок 4), т. е. флуктуации плотности поздней древесины, при которых в ее пределах формируется слой ранних трахеид.

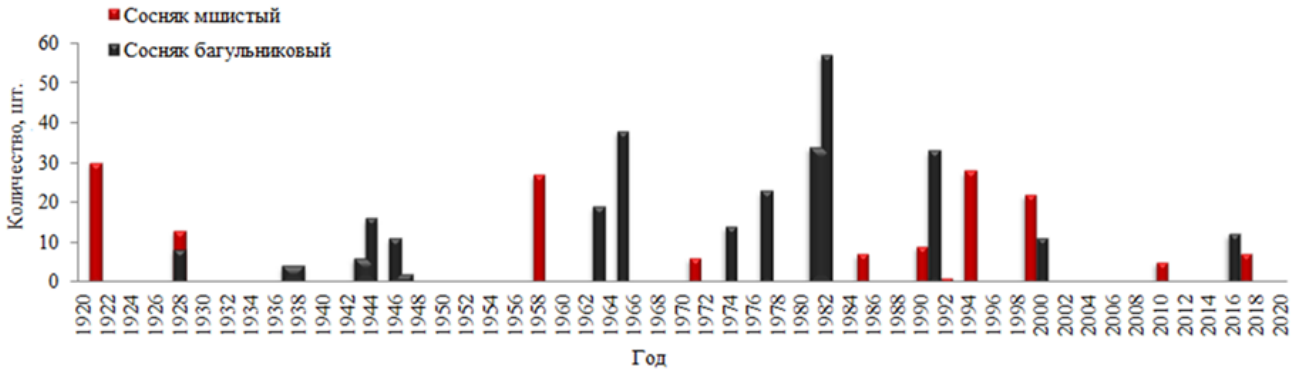


Рисунок 4 – Распределение аномалий структуры годичных колец – тип IADF L

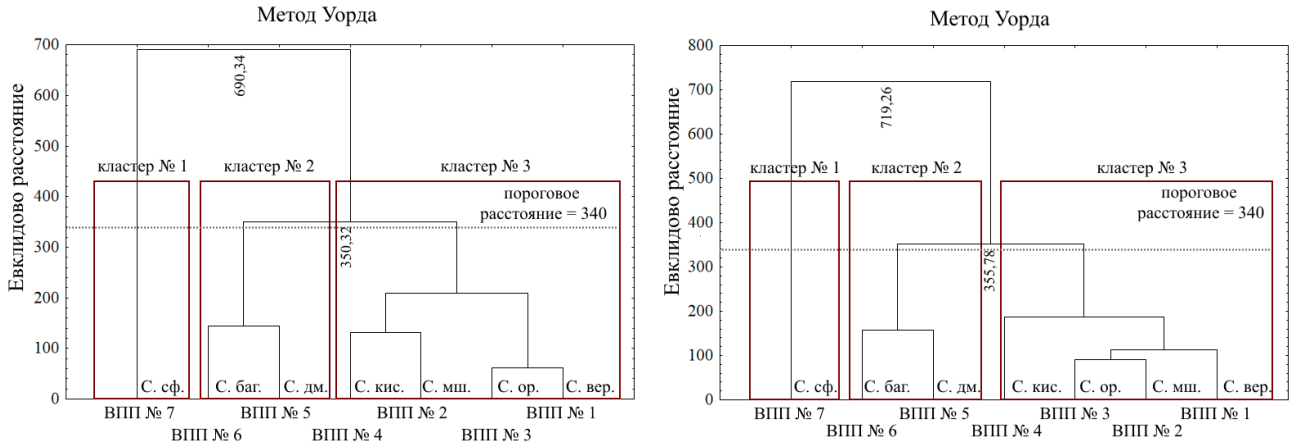
Максимальное число обнаруженных аномалий (91,4 %) в сосняках мшистых пришлось на 1921, 1928, 1958, 1971, 1985, 1990, 1992, 1994, 1999, 2010 и 2017 гг. Максимальное число обнаруженных аномалий (89,7 %) в сосняках багульниковых пришлось на 1928, 1937, 1944, 1946, 1963, 1965, 1974, 1977, 1981, 1982, 1991, 2000 и 2016 гг. Совпадений образования аномалий в сравниваемых типах леса практически не наблюдается (исключение − 1928 г.), поскольку степень ответных реакций на изменения внешних условий у них различна.

Расчет коэффициентов корреляции Спирмена между количеством аномалий структуры годичных колец и рядами метеопараметров за период с сентября предыдущего по сентябрь текущего года показал, что отдельные месяцы характеризуются неравным вкладом в образование аномалий у сосняков мшистых и багульниковых. Если сравнить влияние климатических условий текущего и предыдущего календарных лет, то для текущего года был найден 31 достоверный коэффициент, а для предыдущего − 10 [5–А; 6–А; 28–А].

Сравнительный анализ элементного состава древесины сосны обыкновенной в зависимости от условий местопроизрастания и фазы вегетации. Выявлено, что для всех исследованных типов леса к концу вегетационного периода (сентябрь) отмечается уменьшение содержания Cu в ксилеме примерно в 1,4 раза и увеличение содержания Mn в 1,2 раза ($p < 0,05$). Величина экологической изменчивости для Ca, K,

Mn, Pb, Rb, Sr и Zn превышает сезонную, что подтверждается высокой значимостью ($p < 0{,}001$) по критерию Краскела – Уоллиса; исключение составляет медь, для которой изменчивость по типам леса отсутствует ($p > 0{,}05$). С ухудшением условий по богатству почвы и увеличением ее увлажненности в ксилеме сосны обыкновенной отмечается снижение содержания Ca в 2,4 раза, K в 2,3 раза, Mn в 1,5 раза и увеличение содержания Pb и Rb в 2,6 раза, Sr в 2,2 раза и Zn в 2,1 раза. Уменьшение содержания Ca и K в условиях повышения влажности, вероятно, связано с бедностью условий местопроизрастания или ограничением их усвоения корнями при застойном увлажнении. Одновременно со снижением содержания Ca и K наблюдается увеличение содержания Zn.

Разделение исследованных типов леса по содержанию элементов в древесине (рисунок 5) соответствует трем группам древесно-кольцевых хронологий, выделенных по богатству почвы и режиму увлажнения: сосняки на почвах неустойчивого и нормального увлажнения (сосняк вересковый, сосняк мшистый, сосняк орляковый, сосняк кисличный), сосняки на почвах избыточного увлажнения (сосняк долгомошный, сосняк багульниковый), сосняки на верховых болотах (сосняк сфагновый) [4–А; 22–А; 28–А].



а *б*

Рисунок 5 – Вертикальные дендрограммы распределения исследованных типов леса по кластерам на основе сравнения элементного состава годичных колец за апрель (а) и сентябрь (б)

Глава 6 «Оценка возможности установления места произрастания древесины с использованием ее спектральных и морфолого-анатомических параметров».

Сравнительный анализ БИК-спектров сосняков мшистых разного географического происхождения. Проведенное исследование спектрометрических параметров древесины в БИК-диапазоне на 106 ВПП позволило выделить на территории Беларуси шесть однородных районов произрастания (рисунок 6). Менее 4 % локалитетов (ВПП № 58, 71, 84 и 88) не вошли ни в один из районов ввиду уникальности БИК-спектров древесины.

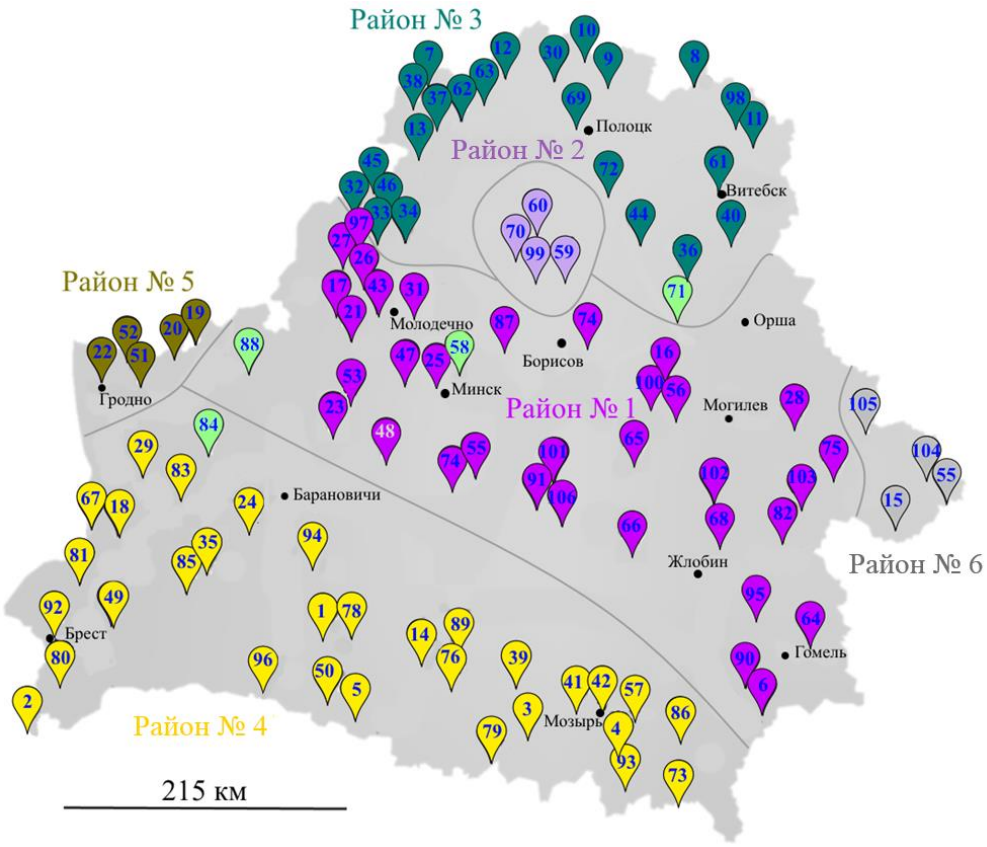


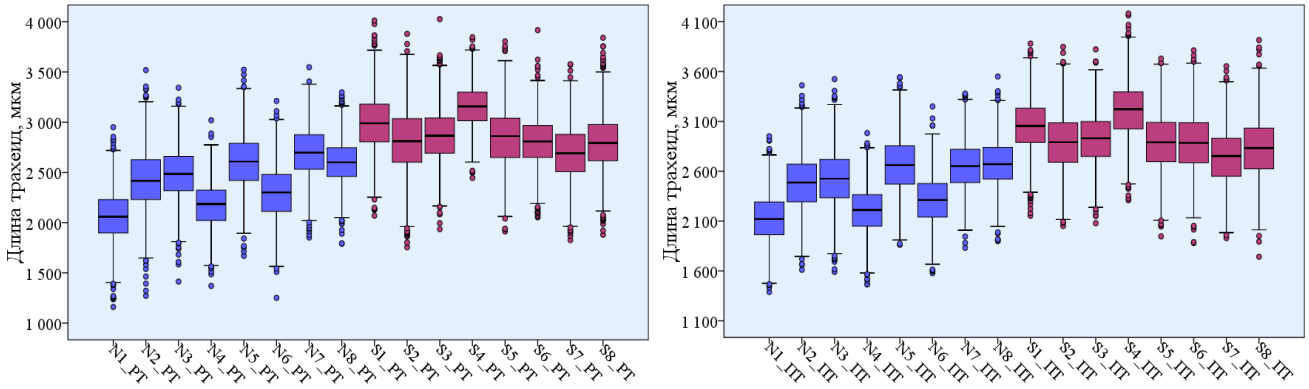
Рисунок 6 – Однородные районы произрастания сосняков мшистых, характеризующиеся сходными спектральными вариациями древесины в БИК-диапазоне (разделение осуществлено по результатам анализа методом главных компонент); неклассифицированные ВПП обозначены светло-зеленым цветом

Разработанная с использованием ЛДА классификационная модель позволила дифференцировать сосновые насаждения из шести районов Беларуси со средней точностью (94,6 ± 2,3) % для обучающей выборки и (93,6 ± 3,4) % для тестовой [1–А; 3–А; 19–А].

Сравнительный анализ длины трахеид сосняков мшистых из северных и южных районов Беларуси. Средняя длина ранних трахеид (РТ) в северных районах составляет (2418,2 ± 225,5) мкм, в южных – (2868,6 ± 144,0) мкм; средняя длина поздних трахеид (ПТ) в северных районах составляет (2461,2 ± 223,4) мкм, в южных – (2928,6 ± 145,9) мкм. Таким образом, как ранние, так и поздние трахеиды в южных районах в среднем в 1,2 раза длиннее, чем в северных. Такое изменение размеров трахеид в направлении с юга на север является проявлением географической изменчивости и, вероятно, обусловлено различиями климатических условий в широтном направлении. При этом географическая изменчивость средней длины РТ и ПТ достаточно высокая. Коэффициент вариации составляет 11 % при среднем значении признака по совокупности всех ВПП, равном 2643,4 мкм (для РТ) и 2694,8 мкм (для ПТ).

Представленные на диаграммах размаха данные (рисунок 7) позволяют визуализировать распределение длины трахеид на каждой из исследованных ВПП

и подтверждают, что длина РТ и ПТ в южных районах превышает таковую в северных [11–А].



а *б*

Рисунок 7 – Диаграмма размахов средних длин ранних (а) и поздних (б) трахеид из северных (синий цвет) и южных (красный цвет) районов Беларуси

Глава 7 «Установление фактов негативного антропогенного воздействия на объекты растительного происхождения».

Выявлено, что обследованные территории Минска характеризуются различным уровнем антропогенной нагрузки – от слабой до критической. Полученные значения индекса флуктуирующей асимметрии (ИФА) позволяют рассматривать флуктуирующую асимметрию хвои как маркер ухудшения условий роста.

Сравнительный анализ морфолого-анатомических параметров хвои (таблица 2) показал, что с увеличением уровня антропогенной нагрузки и ИФА наблюдаются выраженные изменения исследуемых показателей. В частности, отмечается уменьшение длины и площади хвои в среднем в 1,2 раза, что может свидетельствовать об угнетении ростовых процессов под воздействием неблагоприятных факторов среды. Длина и ширина устьиц также уменьшаются (в среднем в 1,1 раза), тогда как диаметр и количество смоляных каналов, напротив, увеличиваются примерно в 1,1 раза, что, вероятно, связано с усилением защитных реакций растения. Установлено, что при увеличении балла ИФА от 2 до 4 количество устьиц постепенно увеличивается, при балле ИФА = 5 наблюдается резкий рост данного показателя, после чего при балле ИФА = 6 происходит его снижение (на 28 % по сравнению с ИФА = 5). Такая динамика указывает на нелинейный характер адаптационных реакций хвои. Полученные данные свидетельствуют о том, что при переходе от слабой к высокой антропогенной нагрузке активизируются компенсаторные механизмы, обеспечивающие функционирование устьичного аппарата в условиях загрязнения. Однако при достижении критического уровня воздействия наблюдается снижение количества устьиц, что может приводить к нарушению газообмена, ухудшению физиологического состояния растения и, как следствие, к гибели хвои и растения в целом.

Таблица 2 – Морфолого-анатомические параметры хвои сосны ($M_x \pm$ SD)

Морфолого-анатомический параметр	Балл ИФА = 1 (контроль)	Балл ИФА = 2	Балл ИФА = 3	Балл ИФА = 4	Балл ИФА = 5	Балл ИФА = 6
Длина, мм	74,3 ± 13,7	69,8 ± 8,8***	59,7 ± 8,9***	61,5 ± 12,0***	58,1 ± 7,7***	50,9 ± 12,5***
Ширина, мм	1,58 ± 0,15	1,56 ± 0,13***	1,55 ± 0,13***	1,56 ± 0,18*	1,61 ± 0,13***	1,64 ± 0,11***
Толщина, мм	0,75 ± 0,17	0,74 ± 0,16	0,74 ± 0,14	0,74 ± 0,15	0,75 ± 0,15	0,74 ± 0,16
Площадь поверхности хвои, мм^2	267,7 ± 52,3	247,7 ± ± 35,8***	211,0 ± ± 34,5***	219,3 ± ± 47,7***	211,8 ± ± 32,3***	186,8 ± ± 47,8***
Площадь поперечного сечения ($S_{ПС}$), мм^2	0,93 ± 0,15	0,91 ± 0,12**	0,90 ± 0,13***	0,91 ± 0,15*	0,95 ± 0,13*	0,95 ± 0,14*
Площадь центрального цилиндра ($S_{ЦЦ}$), мм^2	0,27 ± 0,03	0,27 ± 0,03	0,23 ± 0,03	0,33 ± ± 0,04***	0,29 ± ± 0,03***	0,41 ± ± 0,04***
$S_{ЦЦ}/S_{ПС}$	0,31 ± 0,09	0,32 ± 0,07	0,27 ± 0,07***	0,40 ± 0,10***	0,33 ± 0,07***	0,47 ± 0,09***
Длина устьиц, мкм	61,7 ± 9,1	60,8 ± 7,5*	60,4 ± 9,0*	59,8 ± ± 8,8***	54,4 ± ± 7,9***	50,9 ± ± 7,2***
Ширина устьиц, мкм	44,6 ± 4,9	43,7 ± 6,1*	46,8 ± 6,4*	41,2 ± 5,9***	41,6 ± 4,4***	36,9 ± 5,4***
Количество устьиц, шт./мм^2	84,7 ± 19,6	86,0 ± 16,6	85,4 ± 20,0	85,7 ± 19,3	101,2 ± ± 16,9***	73,6 ± ± 15,7***
Диаметр смоляных каналов, мкм	133,4 ± 16,0	132,0 ± 14,6	135,6 ± 18,9*	138,1 ± ± 18,9***	166,9 ± ± 13,8***	177,4 ± ± 13,3***
Количество смоляных каналов, шт.	8,90 ± 1,99	8,99 ± 1,75	9,03 ± 1,78	10,03 ± ± 1,75***	9,94 ± ± 1,49***	10,20 ± ± 1,74***

Примечание – M_x – среднее арифметическое значение; SD – среднеквадратичное отклонение; * – $p \leq 0{,}05$, ** – $p \leq 0{,}01$, *** – $p \leq 0{,}001$, уровень значимости по сравнению с контролем (Березинский биосферный заповедник); оценка влияния антропогенного фактора: 1 – норма, 2 – слабое, 3 – умеренное, 4 – высокое, 5 – очень высокое, 6 – критическое.

Результаты анализа спектральных данных хвои методом главных компонент, отображенные в пространстве трех первых главных компонент и представленные на матрице счетов, демонстрируют, что образцы хвои образуют три класса: первый – образцы с баллом ИФА = 1, что соответствует состоянию относительного экологического благополучия; второй – образцы с баллами ИФА = 2 и 3, что соответствует фазе антропогенной трансформации; третий – образцы с баллами ИФА = 4, 5 и 6, что отвечает состоянию значительного отклонения от экологического равновесия (рисунок 8).

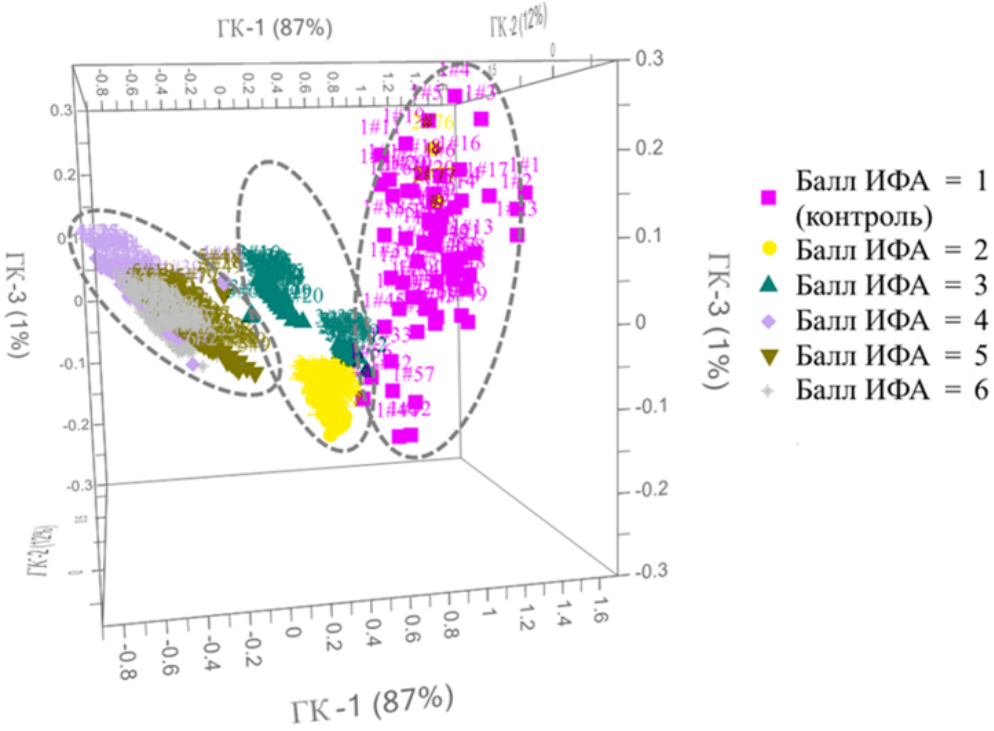


Рисунок 8 – Матрица счетов для исследованных образцов в 3D-проекции

На основе БИК-спектроскопии и SIMCA построены классификационные модели, позволяющие дифференцировать хвою сосны обыкновенной с территорий с различной степенью антропогенной нагрузки (балл ИФА = 1–6).

Средняя точность классификационной SIMCA-модели составила (85,4 ± 2,7) % для обучающей выборки и (84,1 ± 1,8) % для тестовой [2–А; 9–А; 20–А; 21–А].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Научно-методический и алгоритмический инструментарий судебной дендрохронологической экспертизы, разработанный в рамках концепции проводимого исследования, позволил включить ее в качестве подвида судебной ботанической экспертизы в Перечень видов (подвидов) судебных экспертиз, проведение которых осуществляется государственными судебно-экспертными организациями [12–А; 13–А; 14–А; 18–А; 23–А; 25–А; 26–А; 27–А; 30–А].

Использование АРМ «DendroExp» для дендрохронологической экспертизы на примере древесины сосны обыкновенной позволило: получать точные и достоверные параметры радиального прироста, уменьшив время выполнения измерений в среднем в 5 раз; сократить сроки проведения экспертиз в (1,9 ± 0,4) раза при решении задач, связанных с установлением взаимной принадлежности отдельных частей дерева при отсутствии общих линий разделения между ними, и в (1,6 ± 0,2) раза при решении задач, связанных с датированием исследуемого

древесного материала (абсолютным и относительным) с точностью до полугода; повысить оперативность доступа к дендрохронологической информации – все данные об объектах, в том числе результаты исследований, доступны эксперту в режиме реального времени [15–А; 23–А].

Сосняки мшистые, произрастающие на территории Беларуси, характеризуются закономерной изменчивостью прироста поздней древесины. 106 локальных res-хронологий разделены на 11 дендрохронологически однородных подрайонов (средняя точность районирования составила (89,1 ± 7,6) %). ДКХ, полученные по ширине поздней древесины, могут использоваться при проведении судебных дендрохронологических экспертиз для установления групповой принадлежности и привязки образцов к конкретному местонахождению (например, месту незаконной рубки) [8–А; 10–А; 24–А].

2. Рассчитанные значения точности классификационных моделей, основанных на БИК-спектрах и используемых для решения экспертных задач по установлению (подтверждению) видовой принадлежности древесины и фактов фальсификации при ее термической модификации, во всех случаях превышают 90 %, что позволяет применять их для классификации новых (неизвестных) образцов, в том числе реальных экспертных объектов. Важным условием корректной интерпретации результатов является наличие постоянно обновляемой базы эталонных (референтных) БИК-спектров, обеспечивающей сопоставление неизвестных образцов с эталонами и их классификацию. Классификационные модели могут быть улучшены за счет расширения выборки образцов, что позволяет учитывать допустимые вариации [7–А; 16–А; 17–А; 29–А].

3. Сосняки мшистые и багульниковые различаются по количеству флуктуаций плотности (за исключением типа IADF E), морозобойных и выпавших годичных колец. С ухудшением условий по богатству почвы и увлажнению от суходольных сосняков к болотным увеличивается количество выпавших годичных колец, уменьшается содержание Ca, K, Mn и повышается содержание Pb, Rb, Sr, Zn. Установлено, что независимо от условий роста содержание Cu снижается, а содержание Mn увеличивается к концу вегетационного периода. Полученные результаты свидетельствуют о том, что изучение аномалий структуры и элементного состава годичных колец расширяет возможности судебно-экспертных исследований сосны обыкновенной [4–А; 5–А; 6–А; 22–А; 28–А].

4. Сосняки мшистые, произрастающие на территории Беларуси, характеризуются изменчивостью спектрометрических параметров в БИК-диапазоне. Выявленная закономерность позволила выделить 6 однородных районов (средняя точность районирования составила 94,6 ± 2,3) % для обучающей выборки и (93,6 ± 3,4) % для тестовой). Ранние и поздние трахеиды в южных районах Беларуси в среднем в 1,2 раза длиннее, чем в северных. Полученные

данные представляют практический интерес для решения экспертной задачи по идентификации места происхождения лесоматериалов [1–А; 3–А; 11–А; 19–А].

5. Морфолого-анатомические (за исключением толщины) и спектральные параметры хвои могут служить дополнительными маркерами для диагностики состояния сосновых насаждений в городской среде и их устойчивости к воздействию антропогенных факторов. Разработанная на основе БИК-спектров хвои многообъектная классификационная модель позволяет установить степень антропогенной нагрузки со средней точностью (85,4 ± 2,7) % для обучающей выборки и (84,1 ± 1,8) % для тестовой [2–А; 9–А; 20–А; 21–А; 24–А].

Рекомендации по практическому использованию результатов

Разработанные в ходе выполнения диссертационной работы методические материалы разрешены к применению Межведомственным научно-методическим советом в сфере судебно-экспертной деятельности при проведении судебных экспертиз (исследований), рекомендованы для использования в образовательном процессе и включены в Реестр судебно-экспертных методик и иных методических материалов Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь (выписка из Реестра от 06.03.2023).

Разработанные методические материалы применяются при проведении судебных дендрохронологических экспертиз в государственной некоммерческой организации «Национальное бюро экспертиз» Национальной академии наук Республики Армения (акт внедрения от 14.11.2023).

Полученные результаты используются в образовательном процессе в учреждении образования «Белорусский государственный технологический университет» (акт от 13.12.2024), государственном учреждении образования «Институт повышения квалификации и переподготовки кадров Государственного комитета судебных экспертиз Республики Беларусь» (акт от 24.03.2025) и учреждении образования «Белорусский государственный университет культуры и искусств» (3 акта от 18.04.2025). Полученные результаты внедрены в прикладные научные исследования в области экспертизы произведений изобразительного и декоративно-прикладного искусства филиала «Институт искусствоведения, этнографии и фольклора имени Кондрата Крапивы» (акт от 27.03.2025).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в научных журналах и сборниках, включенных в Перечень научных изданий Республики Беларусь для публикации результатов диссертационных исследований, и в зарубежных изданиях

1–А. Хох, А. Н. Установление географического происхождения сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по спектрометрическим параметрам в БИК-диапазоне / А. Н. Хох, В. Б. Звягинцев // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. – 2020. – № 1. – С. 78–84.

2–А. Хох, А. Н. Влияние антропогенного загрязнения на морфолого-анатомические параметры и спектральные характеристики хвои сосны обыкновенной / А. Н. Хох, В. Б. Звягинцев // Вестник Оренбургского государственного педагогического университета : электрон. науч. журн. – 2021. – № 1. – С. 69–80.

3–А. Хох, А. Н. Диагностика происхождения древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) из разных регионов Беларуси с помощью спектроскопии в ближней инфракрасной области / А. Н. Хох, В. Б. Звягинцев // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2021. – № 6. – С. 48–53.

4–А. Хох, А. Н. Особенности элементного состава древесины сосны обыкновенной в зависимости от условий местопроизрастания и фазы вегетации / А. Н. Хох, В. Б. Звягинцев // Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. – 2022. – Т. 22, № 1. – С. 47–56.

5–А. Хох, А. Н. Аномалии структуры годичных слоев сосны обыкновенной в зависимости от типа леса / А. Н. Хох, В. Б. Звягинцев // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. – 2023. – № 3. – С. 49–55.

6–А. Хох, А. Н. Анализ аномалий структуры годичных колец в сосняках мшистых и багульниковых / А. Н. Хох // Лесотехнический журнал. – 2023. – Т. 13, № 4-2. – С. 212–230.

7–А. Хох, А. Н. Ближняя инфракрасная спектроскопия в судебно-экспертных исследованиях древесины / А. Н. Хох // Наука и инновации. – 2024. – № 11. – С. 65–71.

8–А. Хох, А. Н. Геоэкологические детерминанты прироста поздней древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях Беларуси / А. Н. Хох, В. Б. Звягинцев // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. – 2024. – № 6-2. – С. 30–39.

9–А. Хох, А. Н. Комплексный анализ хвои сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в г. Минске / А. Н. Хох, В. Б. Звягинцев // Вестник Донецкого национального университета. Серия А, Естественные науки. – 2024. – № 1. – С. 133–141.

10–А. Хох, А. Н. Исследование поздней древесины для установления места произрастания / А. Н. Хох // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы : сб. науч. тр. / НПЦ Гос. ком. судеб. экспертиз Респ. Беларусь ; редкол. : А. С. Рубис (гл. ред.) [и др.]. – Мн., 2024. – Вып. 2 (56). – С. 114–123.

11–А. Хох, А. Н. Географическая изменчивость длины трахеид сосны обыкновенной в условиях Беларуси / А. Н. Хох // Вестник Донецкого национального университета. Серия А, Естественные науки. – 2025. – № 1. – С. 147–154.

Статьи в других рецензируемых изданиях

12–А. Хох, А. Н. Становление судебно-ботанической экспертизы с использованием дендрохронологического анализа в Республике Беларусь / А. Н. Хох // Судебная экспертиза Беларуси. – 2020. – № 1. – С. 64–68.

13–A. Khokh, A. Approaches to the identification of the place of origin of pine wood on the basis of dendrochronological parameters / A. Khokh, M. Yermokhin // Армянский журнал судебной экспертизы и криминалистики. – 2020. – № 3. – С. 135–140.

14–А. Хох, А. Н. Дендрохронология и судебная экспертиза: история научного взаимодействия / А. Н. Хох // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы : сб. науч. тр. / НПЦ Гос. ком. судеб. экспертиз Респ. Беларусь ; редкол.: А. С. Рубис (гл. ред.) [и др.]. – Мн., 2022. – Вып. 1 (51). – С. 116–123.

15–А. Хох, А. Н. Оценка эффективности применения автоматизированного рабочего места «DendroExp» при проведении судебных дендрохронологических экспертиз / А. Н. Хох, А. А. Ивашкевич // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы : сб. науч. тр. / НПЦ Гос. ком. судеб. экспертиз Респ. Беларусь ; редкол. : А. С. Рубис (гл. ред.) [и др.]. – Мн., 2023. – Вып. 1 (53). – С. 130–137.

16–А. Хох, А. Н. Выявление фактов фальсификации термически модифицированной древесины сосны обыкновенной методом БИК-спектроскопии / А. Н. Хох // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы : сб. науч. тр. / НПЦ Гос. ком. судеб. экспертиз Респ. Беларусь ; редкол. : А. С. Рубис (гл. ред.) [и др.]. – Мн., 2023. – Вып. 1(53). – С. 124–129.

17–А. Хох, А. Н. Выявление фактов фальсификации термически модифицированной древесины с помощью спектроскопии в ближней инфракрасной области в сочетании с хемометрическими алгоритмами (на примере сосны обыкновенной) / А. Н. Хох // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы : сб. науч. тр. / НПЦ Гос. ком. судеб. экспертиз Респ. Беларусь ; редкол.: А. С. Рубис (гл. ред.) [и др.]. – Мн., 2024. – Вып. 1 (55). – С. 140–148.

Материалы конференций

18–А. Хох, А. Н. Алгоритмизация решения типовых задач судебной дендрохронологической экспертизы на примере установления групповой принадлежности и местопроизрастания / А. Н. Хох // Актуальные проблемы судебной экспертизы в Узбекистане и их научно-инновационные решения : материалы науч.-практ. конф., Ташкент, 27 окт. 2022 г. / Респ. центр судеб. экспертизы им. Х. Сулаймановой при М-ве юстиции Респ. Узбекистан ; отв. ред. А. Ю. Халилов. – Ташкент, 2022. – С. 15–21.

19–A. Khokh, A. Approaches to the determination of the growing location of mossy pine forests based on the spectral characteristics of ecologically dependent wood components / A. Khokh // Intelligent biotechnologies of natural and synthetic biologically active substances : XIII Narochanskie readings / ed.: V. Kurchenko [et al.]. – Cham, 2022. – P. 92–98.

20–А. Хох, А. Н. Оценка состояния сосновых насаждений в условиях антропогенного воздействия с помощью БИК-спектроскопии в сочетании с формальным независимым моделированием аналогий классов / А. Н. Хох // Маніторынг і ацэнка стану раслiннага свету : матэрыялы VI Міжнар. навук. канф., Мінск – Ляскавічы, 9–13 каст. 2023 г. / НАН Беларусі [і інш.] ; рэдкал.: А. В. Пугачэўскі (адк. рэд.) [і інш.]. – Мн., 2023. – С. 234–236.

21–A. Khokh, A. N. The possibility of assessing the pinery state under technogenic pollution by NIR spectroscopy and soft independent modelling of class analogy / A. N. Khokh // Advances in ecology and environmental engineering : proc. of the 2nd Intern. conf. on ecology a environmental eng. (RusEcoCon-2024) / ed.: L. V. Radionova, D. V. Ulrikh. – Cham, 2024. – P. 161–170.

22–А. Хох, А. Н. Влияние условий произрастания и фазы вегетации на элементный состав ксилемы сосны обыкновенной / А. Н. Хох // Актуальные проблемы экологии : сб. науч. ст., посвящ. 60-летию фак. биологии и экологии : по итогам XIX Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 1–4 окт. 2024 г. / Гродн. гос. ун-т, Гродн. обл. ком. природ. ресурсов и охраны окруж. среды ; редкол.: О. В. Янчуревич (гл. ред.) [и др.]. – Гродно, 2024. – С. 79–81.

23–А. Хох, А. Н. Научно-методическое обеспечение судебной дендрохронологической экспертизы в Республике Беларусь / А. Н. Хох // Национальные и международные тенденции и перспективы развития судебной экспертизы : сб. докл. науч.-практ. конф. с междунар. участием, Нижний Новгород, 22–23 мая 2024 г. / Нац. исслед. Нижегор. гос. ун-т ; науч. ред. В. А. Юматов. – Н. Новгород, 2024. – С. 397–402.

24–А. Хох, А. Н. Влияние температуры и осадков на динамику радиального прироста сосняков мшистых Минского района / А. Н. Хох, Н. Б. Попкова, В. В. Юревич // Экологические чтения – 2024 : материалы XV Нац. науч.-практ. конф. (с междунар. участием), Омск, 4–5 июня 2024 г. / Ом. гос. аграр. ун-т

[и др.]. – Омск, 2024. – С. 714–719.

Публикации, подтверждающие практическую значимость работы

25–А. Методические рекомендации по исследованию лесоматериалов дендрохронологическим методом в судебно-ботанической экспертизе / А. Н. Хох, Д. Е. Кузменков, Е. А. Прохорова [и др.] ; НПЦ Гос. ком. судеб. экспертиз Респ. Беларусь. – Мн. : Право и экономика, 2018. – 45 с.

26–А. Хох, А. Н. Методические рекомендации по проведению дендрохронологических экспертных исследований с помощью АРМ «DendroExp» / А. Н. Хох, Д. Е. Кузменков, В. В. Ревинский ; НПЦ Гос. ком. судеб. экспертиз Респ. Беларусь. – Мн. : Право и экономика, 2018. – 37 с.

27–А. Хох, А. Н. Методика определения места происхождения лесоматериалов из древесины сосны на основе дендрохронологических параметров / А. Н. Хох, М. В. Ермохин ; НПЦ Гос. ком. судеб. экспертиз Респ. Беларусь. – Мн. : ИВЦ Минфина, 2019. – 41 с.

28–А. Хох, А. Н. Исследование морфолого-анатомической структуры и химического состава сосны обыкновенной при решении криминалистических задач : метод. рекомендации / А. Н. Хох, М. В. Ермохин ; НПЦ Гос. ком. судеб. экспертиз Респ. Беларусь. – Мн. : Транстехника, 2021. – 55 с.

29–А. Хох, А. Н. Методика экспертного исследования древесины и коры методами ИК- и БИК-спектроскопии с использованием хемометрических алгоритмов анализа / А. Н. Хох, В. Б. Звягинцев ; НПЦ Гос. ком. судеб. экспертиз Респ. Беларусь. – Мн. : Транстехника, 2022. – 26 с.

30–А. Словарь основных терминов судебной ботанической (дендрохронологической) экспертизы : справ.-метод. пособие / А. Н. Хох, М. В. Ермохин, П. С. Восканян [и др.]; НПЦ Гос. ком. судеб. экспертиз Респ. Беларусь. – Мн. : Транстехника, 2023. – 26 с.

РЭЗЮМЭ

Хох Ганна Мікалаеўна

Аб’екты раслiннага паходжання як крыніца доказнай інфармацыі ў судовай экспертызе (на прыкладзе сасны звычайнай)

Ключавыя словы: сасна звычайная, судова-экспертная дзейнасць, аўтаматызаванае працоўнае месца, позняя драўніна, хемаметрычныя алгарытмы, відавая прыналежнасць, тэрмічная мадыфікацыя, глебава-грунтавыя ўмовы, анамалiі структуры, элементны склад, месца вырастання, антрапагенная нагрузка

Мэта даследавання: навукова абгрунтаваць і распрацаваць сістэму мерапрыемстваў па павышэнні эфектыўнасці правядзення судова-экспертных даследаванняў аб’ектаў раслiннага паходжання (на прыкладзе сасны звычайнай).

Метады даследавання і выкарыстаная апаратура: дэндрахраналагічны метад, светлавая мікраскапія, БІК-спектраскапія, рэнтгенафлуарэсцэнтны аналіз; мікраскоп Leica S4E, мікраскоп Nikon ECLIPSE E200, рэнтгенафлуарэсцэнтны спектрометр СЕР-01, БІК-спектрометр MicroNIR OnSite.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Упершыню для Беларусі праведзены мэтанакіраваныя даследаванні па ўкараненні дэндрахраналагічнага метаду ў практыку дзяржаўных судова-экспертных арганізацый; на падставе выяўленых заканамернасцяў прыросту позняй драўніны і спектраметрычных параметраў у БІК-дыяпазоне распрацавана раянаванне саснякоў імшыстых; даказана прынцыповая магчымасць вырашэння экспертных задач па ўстанаўленні (пацверджанні) відавой прыналежнасці і фактаў фальсіфікацыі тэрмічна мадыфікаванай драўніны з дапамогай метаду БІК-спектраскапіі з прымяненнем накіравана выбраных хемаметрычных алгарытмаў аналізу. Выяўлена сувязь анамалій структуры і элементнага складу гадавых кольцаў сасны звычайнай з глебава-грунтавымі ўмовамі, даўжыні трахеід з геаграфічнай шыратой месца вырастання. Прапанавана комплексная біяіндыкацыйная методыка ацэнкі стану сасновых насаджэнняў у гарадскім асяроддзі на аснове спалучанага аналізу білатэральных, марфолага-анатамічных і спектральных параметраў хвоі.

Рэкамендацыі па выкарыстанні. Вынікі даследавання ўкаранёныя ў практыку дзяржаўных судова-экспертных арганізацый, у навукова-доследную працу, навучальны працэс і працэс павышэння кваліфікацыі.

Галіна прымянення: судова-экспертная дзейнасць, экалогія, ахова прыроды.

РЕЗЮМЕ

Хох Анна Николаевна

Объекты растительного происхождения как источник доказательственной информации в судебной экспертизе (на примере сосны обыкновенной)

Ключевые слова: сосна обыкновенная, судебно-экспертная деятельность, автоматизированное рабочее место, поздняя древесина, хемометрические алгоритмы, видовая принадлежность, термическая модификация, почвенно-грунтовые условия, аномалии структуры, элементный состав, место произрастания, антропогенная нагрузка

Цель исследования: научно обосновать и разработать систему мероприятий по повышению эффективности проведения судебно-экспертных исследований объектов растительного происхождения (на примере сосны обыкновенной).

Методы исследования и использованная аппаратура: дендрохронологический метод, световая микроскопия, БИК-спектроскопия, рентгенофлуоресцентный анализ; микроскоп Leica S4E, микроскоп Nikon ECLIPSE E200, рентгенофлуоресцентный спектрометр СЕР-01, БИК-спектрометр MicroNIR OnSite.

Полученные результаты и их новизна. Впервые для Беларуси проведены целенаправленные исследования по внедрению дендрохронологического метода в практику государственных судебно-экспертных организаций; на основании выявленных закономерностей прироста поздней древесины и спектрометрических параметров в БИК-диапазоне разработано районирование сосняков мшистых; доказана принципиальная возможность решения экспертных задач по установлению (подтверждению) видовой принадлежности и фактов фальсификации термически модифицированной древесины с помощью метода БИК-спектроскопии с применением направленно выбранных хемометрических алгоритмов анализа. Выявлена связь аномалий структуры и элементного состава годичных колец сосны обыкновенной с почвенно-грунтовыми условиями, длины трахеид с географической широтой местопроизрастания. Предложена комплексная биоиндикационная методика оценки состояния сосновых насаждений в городской среде на основе сопряженного анализа билатеральных, морфолого-анатомических и спектральных параметров хвои.

Рекомендации по использованию. Результаты исследования внедрены в практику государственных судебно-экспертных организаций, в научно-исследовательскую работу, учебный процесс и процесс повышения квалификации.

Область применения: судебно-экспертная деятельность, экология, охрана природы.

SUMMARY

Khokh Anna Nikolaevna

Objects of plant origin as a source of evidentiary information in forensic examination (on the example of Scots pine)

Keywords: Scots pine, forensic expert activity, automated workplace, late wood, chemometric algorithms, species, thermal modification, soil conditions, structure anomalies, elemental composition, place of growth, anthropogenic load

Purpose of the study: to scientifically substantiate and develop a system of measures to improve the effectiveness of forensic studies of objects of plant origin (on the example of Scots pine).

Research methods and equipment used: dendrochronological method, light microscopy, NIR spectroscopy, X-ray fluorescence analysis; Leica S4E microscope, Nikon ECLIPSE E200 microscope, X-ray fluorescence spectrometer SER-01, MicroNIR OnSite NIR spectrometer.

Obtained results and their innovativeness. For the first time in Belarus, focused researches have been conducted to introduce the dendrochronological method into the practice of state forensic expert organizations; based on the identified patterns of late wood growth and spectrometric parameters in the NIR range, a zoning of mossy pine forests has been developed; the principal possibility of solving expert issues on establishing species affiliation and facts of adulteration of thermally modified wood using the NIR spectroscopy method with the use of directionally selected chemometric algorithms of analysis has been proved. The connection of anomalies in the structure and elemental composition of the annual rings of the Scots pine with soil conditions, tracheid length with geographical latitude of the place of growth was revealed. An integrated bioindication methodology of the state of pine plantations in urban environment based on the conjugate analysis of bilateral, morphological-anatomical, and spectral parameters of needles was proposed.

Recommendations for use. The research results have been implemented in the practice of state forensic expert organizations, in scientific research, educational process, and professional development process.

Scope of application: forensic expert activity, ecology, nature conservation.

Подписано в печать 12.06.2026. Формат 60×84/16
Бумага офсетная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 1,86.
Тираж 70 экз. Заказ __.

Республиканское унитарное предприятие «Информационно-вычислительный центр Министерства финансов Республики Беларусь»
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя печатных изданий № 2/41 от 29.01.2014
Ул. Кальварийская, 17-1, 220004, г. Минск