

Мухачева Анастасия Николаевна

**ОЦЕНКА ВОЗДЕЙСТВИЯ АНТРОПОГЕННЫХ ФАКТОРОВ СРЕДЫ НА
СОСТОЯНИЕ ДЕНДРОЦЕНОЗОВ ГОРОДА БРАТСКА
НЕРАЗРУШАЮЩИМИ МЕТОДАМИ КОНТРОЛЯ ДРЕВЕСИНЫ**

06.03.02 – Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация

Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Братский государственный университет»

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор Рунова Елена Михайловна

Официальные оппоненты: Братилова Наталия Петровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ФГБОУ ВО «Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М.Ф. Решетнева», кафедра селекции и озеленения, заведующий кафедрой;

Бойко Татьяна Алексеевна, кандидат биологических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Пермская государственная сельскохозяйственная академия имени академика Д.Н. Прянишникова», кафедра лесоводства и ландшафтной архитектуры, заведующий кафедрой.

Ведущая организация: ФГБОУ ВО «Тихоокеанский государственный университет»

Защита диссертации состоится 29 апреля 2022 г. в 12⁰⁰ на заседании диссертационного совета Д 212.281.01 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, Сибирский тракт, 37, УЛК-1, ауд. 401.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» (www.usfeu.ru).

Автореферат разослан «___» марта 2022 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, канд. с.-х. наук, доцент

Магасумова
Альфия Гаптрауфовна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Вопрос значимости зеленых насаждений как части городской среды неоднократно рассматривался во множестве научных исследований (Санаев, 2006; Залесов, 2008; Петровская, Столярова, 2013; Аткина, 2017; Ермакова и др., 2018; Морозова и др., 2018). С учетом высокой антропогенной нагрузки в городских условиях особую актуальность приобретает своевременный мониторинг состояния зеленых насаждений и сохранение их жизнеспособности. При осуществлении данного мониторинга особое внимание необходимо уделять контролю состояния стволовой древесины в спелых и перестойных насаждениях, которые вступают в фазу отмирания. На этой стадии развития в древесине начинают активно формироваться внешние и внутренние пороки, такие как суховершинность, появление плодовых тел дереворазрушающих грибов, гнили. Внутреннее состояние древесины оказывает большое влияние как на собственную жизнеспособность дерева (его способность продолжать рост и формировать побеги без риска ветровала и бурелома, качество минерального питания и водного баланса), так и на жизнь и здоровье жителей города, и целостность личного и общественного имущества в случае ветровала. Подвергать городские древесные насаждения массовой вырубке при отсутствии достоверной информации о повышенной вероятности ветровала является экономически и экологически нецелесообразным, а в случае признания конкретного дерева памятником природы и запрещено законом. В таких ситуациях неинвазивные и малоинвазивные способы контроля внутреннего состояния древесины единственный способ проведения экспертизы аварийности дерева и составления дальнейшей схемы ухода с высокой степенью достоверности.

Город Братск является крупным промышленным центром Сибири, что обуславливает высокую антропогенную нагрузку, как на естественные, так и на урбанизированные дендроценозы района. Это обуславливает актуальность мониторинга состояния городских зеленых насаждений Братска с целью осуществления их своевременной реконструкции и повышения устойчивости к антропогенному влиянию.

Степень разработанности темы исследования. В процессе работы над диссертационным исследованием изучены работы отечественных и зарубежных ученых, посвященные оценке состояния урбоэкосистем, такие как: А.К. Фролов (1998), Н.К. Белова, Э.С. Соколова, Д.А. Белов (2000), Л.Н. Щербакова (2000), J. Lukaszewicz, M. Kosmala, M. Chrapka, J. Borowski (2005), И.В. Санаев (2006), Н.П. Швалева, С.В. Залесов (2007), С.В. Залесов, В.Н. Луганский, О.В. Толкач (2008), Е.М. Рунова (2008), Д.М. Паничева, (2009), Р.Х. Бикмуллин, Р.Х. Ямалеев, А.А. Кулагин (2011), А.И. Татаринцев (2012), С.Н. Тарханов, С.Ю. Бирюков (2012), Е.В. Авдеева, А.И. Панов, С.В. Громыко (2014), И.В. Шевелина, И.Ф. Коростелев, З.Я. Нагимов (2014), Р.В. Овсянкин, Е.А. Иванцова (2016), Д.А. Прысов (2016), А.П. Хаустов, М.М. Редина и др. (2017), Е.В. Колтунов (2017), Л.И. Аткина, А.М. Морозов, М.В. Жукова (2017), J. Borowski, B. Fortuna-Antoszkiewicz, J. Łukaszewicz, E. Rosłon-Szeryńska (2018). На основании

проведенного анализа научных публикаций установлено, что до настоящего времени нет исследований с комплексным применением и сопоставлением визуального, таксационного и нескольких методов неразрушающего контроля стволовой древесины с целью диагностики аварийности городских насаждений при ветровой нагрузке и выявления необходимости своевременной замены аварийных деревьев на более молодые и декоративные растения. Многоаспектный и обширный характер проблематики состояния урбоэкосистем в условиях глобально изменяющегося климата оставляет место для проведения исследований использования малоинвазивных технологий при изучении дендроценозов.

Цель и задачи исследования. Целью исследования являлась комплексная оценка состояния дендроценозов сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) города Братска в зависимости от уровня и типа антропогенной нагрузки. Для реализации данной цели были установлены следующие задачи:

1. Анализ информации о состоянии дендроценозов естественного происхождения района исследования.

2. Лесоводственно - таксационная оценка заложенных пробных площадей визуальными и инструментальными методами.

3. Инструментальная оценка состояния модельных деревьев на пробных площадях методом импульсной томографии в сочетании с методом определения сопротивления сверлению.

4. Перекрестная оценка результатов с использованием методов статистической обработки данных с целью определения жизненного состояния зеленых насаждений и оценки качества стволовой древесины как причины аварийности деревьев.

Научная новизна. Впервые исследования состояние жизненного состояния деревьев сосны обыкновенной в городских условиях параллельно применялись два инструментальных метода для контроля внутреннего состояния ствола с целью анализа сопоставимости результатов и увеличения точности оценки. При проведении измерений получена лесоводственно - таксационная и экологическая характеристика деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), которая свидетельствует о снижении прироста и основных таксационных показателей. В ходе проведения исследования впервые проведена комплексная оценка визуально-инструментальными методами городских насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и соотнесение их параметров с фоновыми значениями для района исследования с использованием кластерного анализа.

Теоретическая и практическая значимость работы. Теоретическая значимость работы заключается в формировании комплексной визуально-инструментальной оценки состояния насаждений сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) различных районов г. Братска с учетом различий в преобладающем типе негативного антропогенного воздействия. Перспективным направлением является продолжение исследований для выявления динамики зафиксированных тенденций. Данная оценка может стать базой для разработки практических

мероприятий по реконструкции существующих древостоев. Результаты работы подтверждены актами внедрения в производство.

Методология и методы исследования. Закладка пробных площадей производилась на основании стандарта ОСТ 56-69-83 от 01.01.1984 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки». С использованием визуальных методов осуществлялось лесоводственно - геоботаническое описание пробных площадей. Инструментальная оценка внутреннего состояния древесины проводилась методом определения сопротивления древесины сверлению с применением оборудования компании Rinntech - Resistograph®, а также методом импульсной (акустической) томографии с использованием прибора компании Rinntech - Arbotom®. Данные, полученные в ходе проведения инструментальных измерений, обрабатывались с применением методов математической статистики и кластерного анализа.

Положения, выносимые на защиту:

1. Под воздействием комплекса антропогенных воздействий (загрязнение окружающей среды, рекреационная нагрузка) снижаются биометрические параметры городских древостоев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.): средний диаметр снижается в среднем по сравнению с фоновыми участками снижается на 25,5%, средняя высота – на 34,7%, высота начала кроны – на 68,0%, увеличивается количество суховершинных деревьев, деревьев с флагообразной кроной, наклоном ствола.

2. Санитарное состояние сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) значительно ухудшается под влиянием загрязнения атмосферного воздуха и высокого уровня рекреационной нагрузки: отмечается увеличение доли сухих ветвей, изреженность кроны, встречаемость сухостоя, что приводит к ускоренному отмиранию и гибели растений.

3. Высокий уровень антропогенной нагрузки (химического происхождения и рекреационной нагрузки) снижает средний возраст начала формирования внешних и внутренних пороков древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в 1,2-1,8 раза. Средний возраст наступления фазы появления стволовой гнили, которая может вызвать падение и гибель деревьев под влиянием антропогенного воздействия снижен на 23% от фонового и составляет 64,4 года.

4. Оголение и повреждение корневой системы под воздействием рекреационной нагрузки оказывают более значимое негативное влияние на встречаемость внешних пороков сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) нежели факторы химического происхождения и способствуют увеличению интенсивности внутренней деструкции стволовой древесины (увеличивает долю деструкции развитой стадии в общей выборке) до 40%.

5. Параллельное применение импульсной томографии и определения сопротивления сверлению в дополнение к традиционным визуальным методам позволяет произвести более точную и качественную оценку состояния растущего дерева.

Степень достоверности и апробация результатов. Степень достоверности результатов подтверждается достаточным объемом экспериментальных измерений (320 измерений модельных деревьев с использованием приборов неразрушающего контроля древесины), выполненных визуальными и инструментальными методами, а также их математической обработкой полученных результатов.

Результаты работы представлены на научных конференциях: VIII-я международная научно-техническая конференция «Лесной комплекс: состояние и перспективы развития» (Брянск, 2018), XX-я международная научно-техническая Интернет-конференция «Лесной комплекс: состояние и перспективы развития» (Брянск, 2020), международная научно-практическая конференция «Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства» (Красноярск, 2020).

По материалам диссертации опубликовано 11 работ, в том числе 3 в журналах из списка ВАК (3 из которых опубликованы в журналах, рекомендованных по научной специальности 06.03.02 сельскохозяйственные науки); 1 – в журнале, индексируемом в базе данных Scopus.

Материалы исследовательской работы были применены при проведении экспертизы аварийности городских деревьев по запросу администрации города.

Личный вклад автора. Автор является непосредственным участником сбора и обработки экспериментального материала.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, шести глав, заключения, списка литературы и приложения. Текст изложен на 150 страницах, содержит 47 таблиц, 112 рисунков. Список использованной литературы включает 112 наименований, из них 12 работ иностранных авторов.

1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИССЛЕДУЕМОЙ ПРОБЛЕМЫ

Городские условия произрастания оказывают серьезное влияние на состояние дендроценозов. В результате совокупного воздействия комплекса антропогенных факторов на жизнедеятельность городских деревьев их жизненный цикл заметно сокращается. По данным Л.О. Машинского предельный возраст деревьев сокращается в 2-10 раз. Ослабление городских древесных растений способствует развитию болезней и вредителей. Одной из острых проблем городских дендроценозов являются гнилевые заболевания стволов, ветвей и корней, вызываемые дереворазрушающими паразитическими грибами-ксилофитами (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., *Fomitopsis officinalis* L., *Phellinus pini* (Brot.Fr.) A. Ames, *Phellinus igniarius* (L.:Fr.) Quel. и другие).

Исследования производились на территории г. Братска, на северо-западе Иркутской области. Во всем районе характерна продолжительная суровая зима (до – 35-40 °С в городе) и короткое жаркое лето (до + 25-30 °С). Общее количество выпадающих осадков невелико - 370-460 мм в год. Средняя высота снежного покрова 30-35 см, он сохраняется в течение 175-180 дней. По данным Братского ЦГМС около 77% дней в году объявляются неблагоприятные метеорологические условия для рассеивания вредных примесей в атмосфере.

Братск включен в Приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы.

Городские зеленые насаждения составляют ориентировочно 25,9% общей территории города Братска. Большая часть древесной растительности Братска имеет естественное происхождение, то есть является сохранными при проектировании и строительстве города участками лесного массива. Доля целенаправленно привнесенных газопылеустойчивых видов невелика. Основу видового состава дендроценозов жилых районов города составляют: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ldb.), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), береза повислая (*Betula pendula* Roth), осина (*Populus tremula* L.), тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), тополь душистый (*Populus suaveolens* Fisch). Исследования последних лет отражают заметное угнетение дендрофлоры города, острую необходимость оценки ее состояния, ее поддержки и реконструкции. С учетом высокой распространённости и низкой устойчивости к антропогенным факторам в качестве маркерной породы для исследования был выбрана сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

Представители рода *Pinus* подвержены высокому риску поражения вредителями корневой системы, ствола и ветвей, хвои и семян. К основным первичным вредителям сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), распространенным в Иркутской области, относятся сибирский и лунчатый шелкопряды; вторичных (стволовых) вредителей насчитывается более 60 видов, в том числе долгоносиков – 7 видов, короедов – 17, златок – 9, усачей – 35. Дереворазрушающие грибы Иркутской области исследованы слабо. К наиболее часто встречающимся разновидностям в сосновых лесах относятся корневая и сосновая губки.

2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При закладке пробных площадей учитывались рекомендации ОСТ 56-69-83 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки». С учетом различной степени антропогенной нагрузки в различных районах г. Братска были заложены 7 пробных площадей и 1 фоновая пробная площадь вне зоны влияния промышленной и коммунальной деятельности (таблица 1). Для оценки уровня химического воздействия использован суммарный показатель загрязнения снежного покрова, рассчитанный в работах О.В. Игнатенко, М.В. Сенченко, Н.А. Мещеровой, по 7 ингредиентам: гидрокарбонат-ион; сульфат-ион; ионы натрия, кальция, водорастворимого фтора и алюминия; нерастворимый остаток.

Таблица 1 – Параметры антропогенной нагрузки на пробные площади

№ п/п	Площадь, га	Видовой состав	Уровень химического воздействия	Стадия рекреационной дегрессии по классификации Казанской
1	0,5	9С1Б+Л	Умеренный (100)	IV

№ п/п	Площадь, га	Видовой состав	Уровень химического воздействия	Стадия рекреационной депрессии по классификации Казанской
2	0,1	10С+О+Б	Умеренный (73)	IV
3	1,9	10С	Умеренный (100)	IV
4	3,9	8С1Л1Б+О	Умеренный (114)	II
5	1,0	6С2Л1О1Б	Высокий (200)	II
6	1,25	4Л4О1С1Б	Высокий (165)	II
7	3,1	4С2Л2Б2О	Умеренный (95)	II
8	1,4	6С3Б1Л	Фоновые значения	I

При проведении исследования для каждой пробной площади производилось лесоводственно - геоботаническое описание, с указанием особенностей древостоя, подроста, подлеска, напочвенного покрова и рельефа. Наличие пороков ствола и кроны, степень оголенности корневой системы определялось и фиксировалось визуально.

Инструментальные исследования проводились методом оценки сопротивления древесины сверлению. Сверление производилось на высоте груди (110-130 см) в двух перпендикулярных направлениях. Также использовался метод импульсной (акустической) томографии. В данном исследовании применялся прибор Arbotom®. Принцип действия импульсной томографии основан на измерении скорости прохождения звукового импульса через древесину. Исследования измерения проводились на высоте 30-60 см и 110-150 см.

Все полученные данные обрабатывались статистическими методами с использованием программы STATISTICA.

3. ЛЕСОВОДСТВЕННО - ТАКСАЦИОННАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЪЕКТА ИССЛЕДОВАНИЯ

Обобщенные и средние биометрические показатели сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) по материалам пробных площадей приведены в таблице 2.

Таблица 2 – Биометрические показатели по пробным площадям

№ п/п	Средний возраст, лет	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Средняя высота начала кроны, м	Состояние корней, % от выборки
1	61,5	30,21±0,6	19,2±0,4	7,2±0,14	Не оголены - 100
2	74	26,24±0,5	13,4±0,3	7,0±0,14	Не оголены - 100
3	70,5	21,60±0,4	11,1±0,2	5,3±0,1	Оголены – 15 Нет – 85
4	78,5	38,62±0,8	21,0±0,5	12,3±0,25	Оголены – 3 Не оголены – 97

№ п/п	Средний возраст, лет	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Средняя высота начала кроны, м	Состояние корней, % от выборки
5	57	15,91±0,3	13,8±0,3	2,5±0,05	Оголены – 1 Не оголены – 99
6	64,5	21,52±0,4	19,0±0,4	3,5±0,07	Не оголены - 100
7	45	19,33±0,4	14,7±0,3	1,9±0,04	Оголены – 2 Не оголены – 98
8	83,5	33,0±0,7	24,5±0,5	17,5±0,35	Не оголены - 100

Произведен анализ состояния кроны на исследуемых площадях, а также анализ встречаемости внешних повреждений стволов (рисунки 1-3).

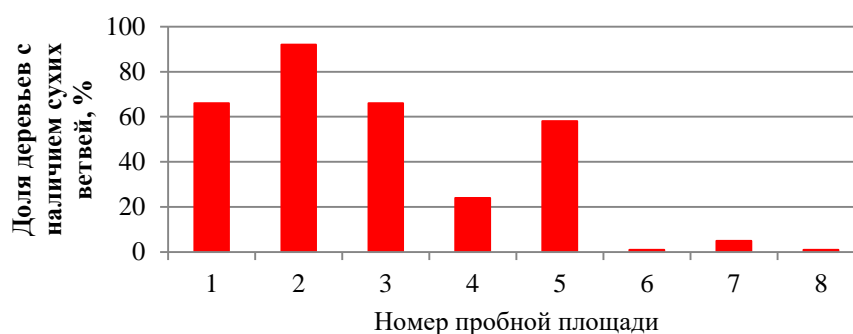


Рисунок 1 – Доля деревьев, имеющих частичное усыхание кроны

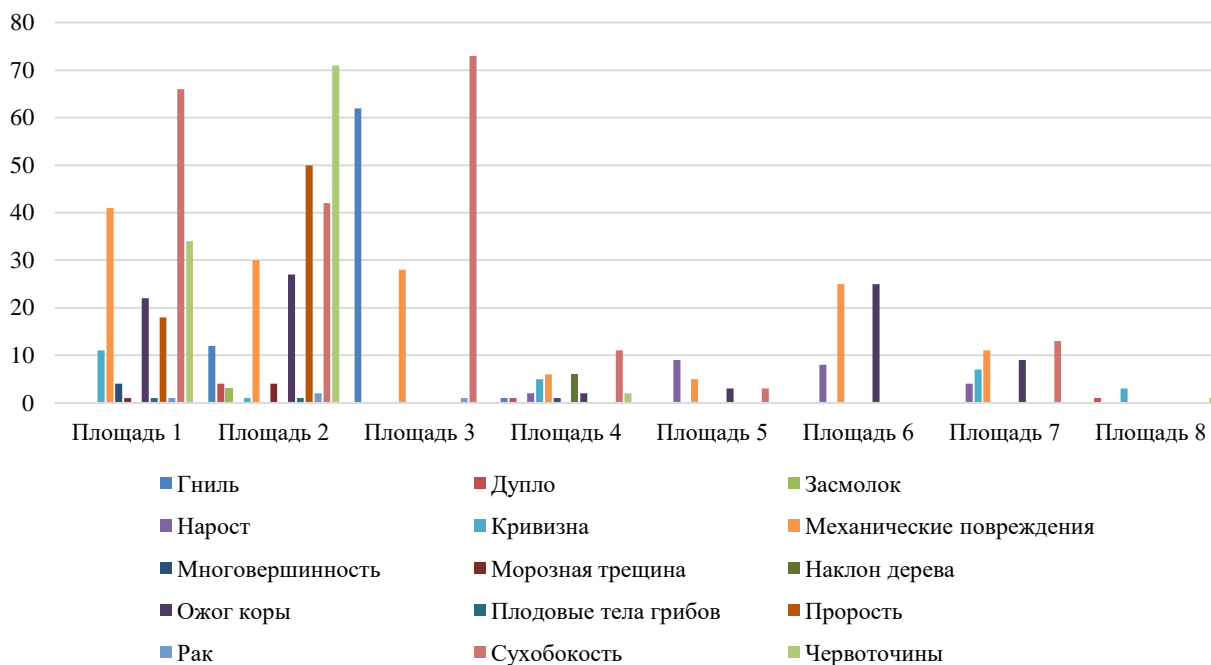


Рисунок 2 - Встречаемость пороков стволочной древесины

Согласно полученным данным, максимальная доля сухих ветвей в кронах наблюдается на пробных площадях № 1, 2, 3 и 5. На прочих площадях их доля незначительна. В части формы и состояния кроны в целом на всех изученных пробных площадях преобладает нормальная (ровная, шарообразная) форма

кроны. Высока доля флагообразной кроны. Значительных отклонений в преобладающих формах кроны от фоновой площади не наблюдается.

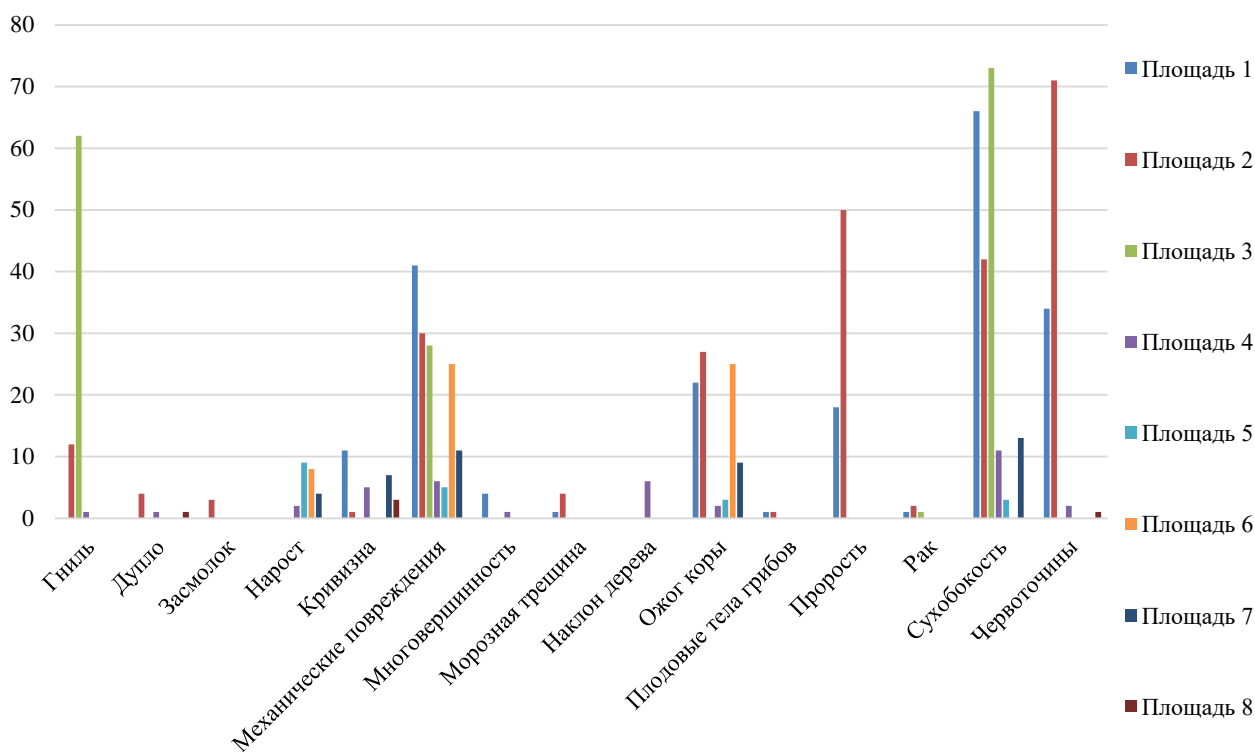


Рисунок 3 - Встречаемость пороков древесины по виду порока

Разнотипные внешние пороки на одном стволе для площадей № 1-3 встречаются более чем в 60% случаев. На пробных площадях № 4-7 встречаемость ниже (0-12% выборки), однако доля неповрежденных стволов все еще ниже (от 50 до 80% выборки), чем на фоновой площади (95% выборки). Среди пороков наибольшей встречаемостью характеризуются: механические повреждения, сухобокость, обугленность, а также червоточины.

Общая оценка состояния деревьев на пробных площадях оценивалась по классификации Крафта и классам санитарной оценки (рисунки 4-5).

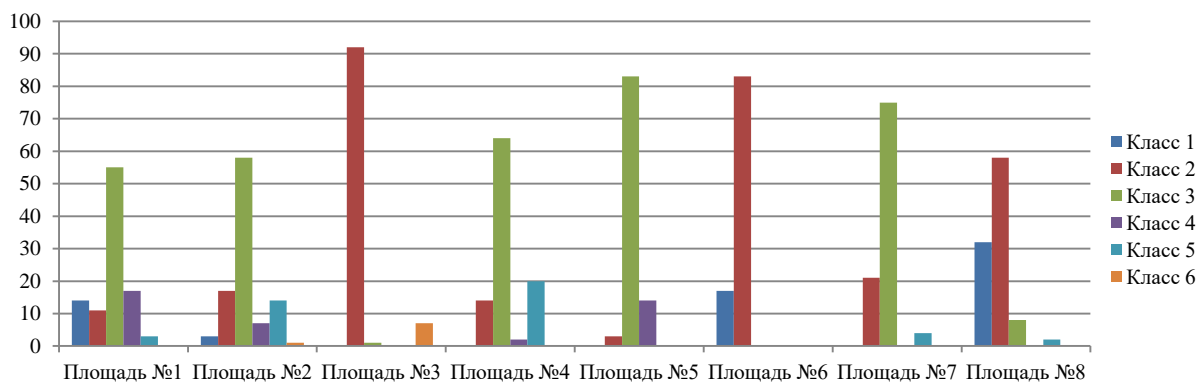


Рисунок 4 – Распределение пробных площадей по классам санитарной оценки, % от выборки

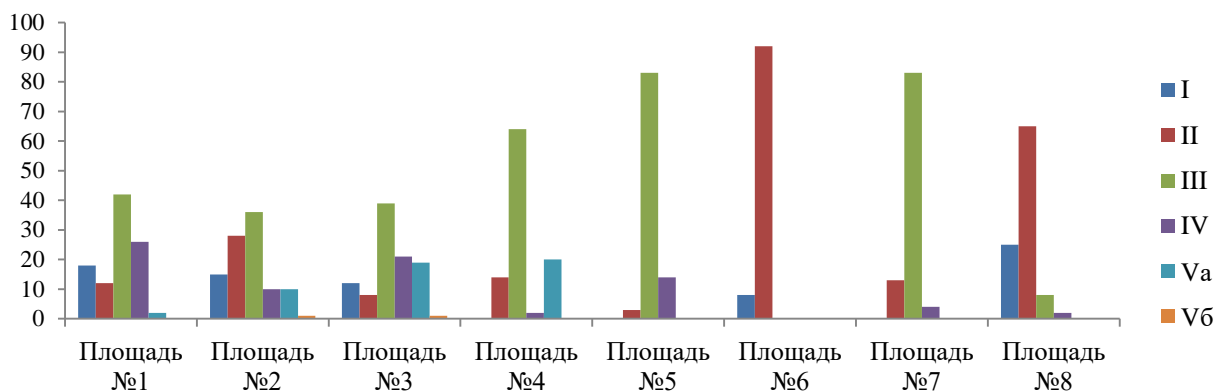


Рисунок 5 – Распределение пробных площадей по классам Крафта, % от выборки

На всех исследованных площадях кроме площадей № 3, 6 и 8 преобладающим классом санитарного состояния является 3 – сильно ослабленные деревья. На площадях № 3, 6 и 8 преобладает 2 класс санитарного состояния – ослабленные деревья. Значительная доля деревьев IV и V классов по классификации Крафта (угнетенные; отмирающие и мертвые деревья) на пробных площадях № 1-5 свидетельствует о значительной угнетенности и нарушения строения древостоя.

Для оценки распределения морфометрических показателей исследованных древостоев было проведено определение основных статистических показателей пробных площадей и проверка на соответствие распределения выборки нормальному распределению (пример приведен в таблице 3).

Таблица 3 - Статистические показатели пробных площадей по диаметру ствола на высоте груди

№ пробной площади	Среднее арифметическое	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Стандарт. ошибка асимметрии	Экссесс	Стандарт. ошибка эксцесса
1	32,20548	215,0544	14,66473	1,500787	0,281029	5,637446	0,555223
2	25,30909	80,399	8,966549	0,162290	0,230448	-0,459914	0,457021
3	21,60843	66,17525	8,134817	1,235485	0,094845	2,985628	0,189408
4	36,12286	88,04373	9,383162	0,361671	0,183603	-0,014244	0,365208
5	26,58857	158,8901	12,60516	0,498590	0,183603	-1,18023	0,365208
6	24,82000	137,9689	11,74601	0,970776	0,183603	-0,370294	0,365208
7	24,97429	129,7795	11,39208	1,071787	0,183603	-0,129976	0,365208
8	37,27273	98,11255	9,905178	0,283286	0,490962	-0,876588	0,952780

Можно сделать вывод о преимущественном несоответствии исследованных пробных площадей нормальному распределению (исключение составляют площади №1 и 4). Фоновая площадь №8 характеризуется соответствием нормальному распределению по всем исследованным параметрам.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСИНЫ *PINUS SYLVESTRIS* L. МЕТОДОМ ИМПУЛЬСНОЙ ТОМОГРАФИИ

Примеры томограмм модельных деревьев приведены на рисунке 6. Результаты оценки состояния древесины *Pinus sylvestris* L. методом импульсной томографии приведены в таблице 4.

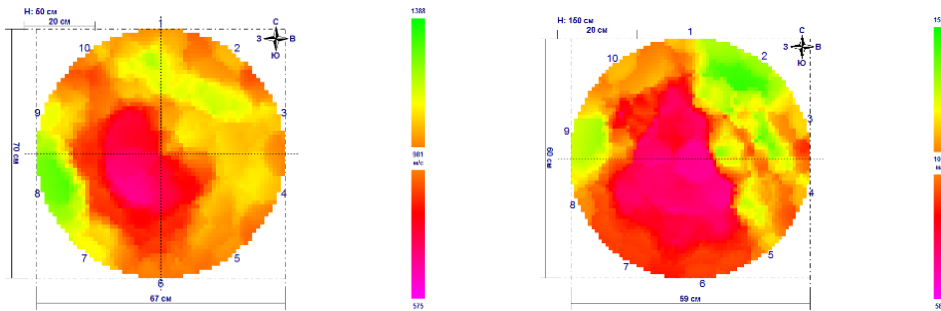


Рисунок 6 – Томограммы модельного дерева №1 на высоте 50 см (слева) и 150 см (справа)

Таблица 4 – Результаты оценки методом импульсной томографии

№ площади	Средняя скорость импульса, м/с	Средняя доля нарушенной древесины, %
Измерение на высоте груди		
1	913,70	43,11
2	1061,68	28,31
3	1062,89	24,09
4	1148,94	14,47
5	1212,40	14,22
6	1258,37	16,59
7	1209,19	15,93
8	1170,24	18,68
Измерение на высоте шейки корня		
1	879,87	44,28
2	1024,21	31,59
3	1090,64	23,16
4	1172,04	15,12
5	1255,20	12,33
6	1266,59	11,56
7	1217,45	11,34
8	1161,14	13,92

Области сечения ствола, на которых возможно развитие деструктивных процессов, можно выделить на 97,5% исследованных модельных деревьев. Наибольшая часть деревьев выборки имеет в сечении ствола области пониженной прочности в следующем объеме: для прикорневой области – от 10 до 20 % сечения, для уровня груди – от 20 до 30 % сечения.

Дендрограммы, полученные в результате обработки данных измерений методом иерархической кластеризации с использованием полной связи (метода дальнего соседа), по различным показателям приведены на рисунках 7-8, где:

	- модельные деревья с площади №1
	- модельные деревья с площади №2
	- модельные деревья с площади №3
	- модельные деревья с площади №4
	- модельные деревья с площади №5
	- модельные деревья с площади №6
	- модельные деревья с площади №7
	- модельные деревья с площади №8 (фоновая площадь)



Рисунок 7 - Сродство модельных деревьев по параметрам содержание деструкций (%) / средняя скорость импульса (м/мин) на высоте шейки корня

На основании результатов кластеризации можно подтвердить вывод о высокой селективности показателей площадей №1-3. При этом показатели модельных деревьев с площадей № 4-7 демонстрируют высокую степень сродства, как между собой, так и модельными деревьями фоновой площади.

5. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСИНЫ *PINUS SYLVESTRIS* L. МЕТОДОМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СОПРОТИВЛЕНИЯ СВЕРЛЕНИЮ

Результаты проведенных измерений приведены в таблице 5. Примеры полученных резистограмм модельных деревьев с различных пробных площадей приведены на рисунке 9.

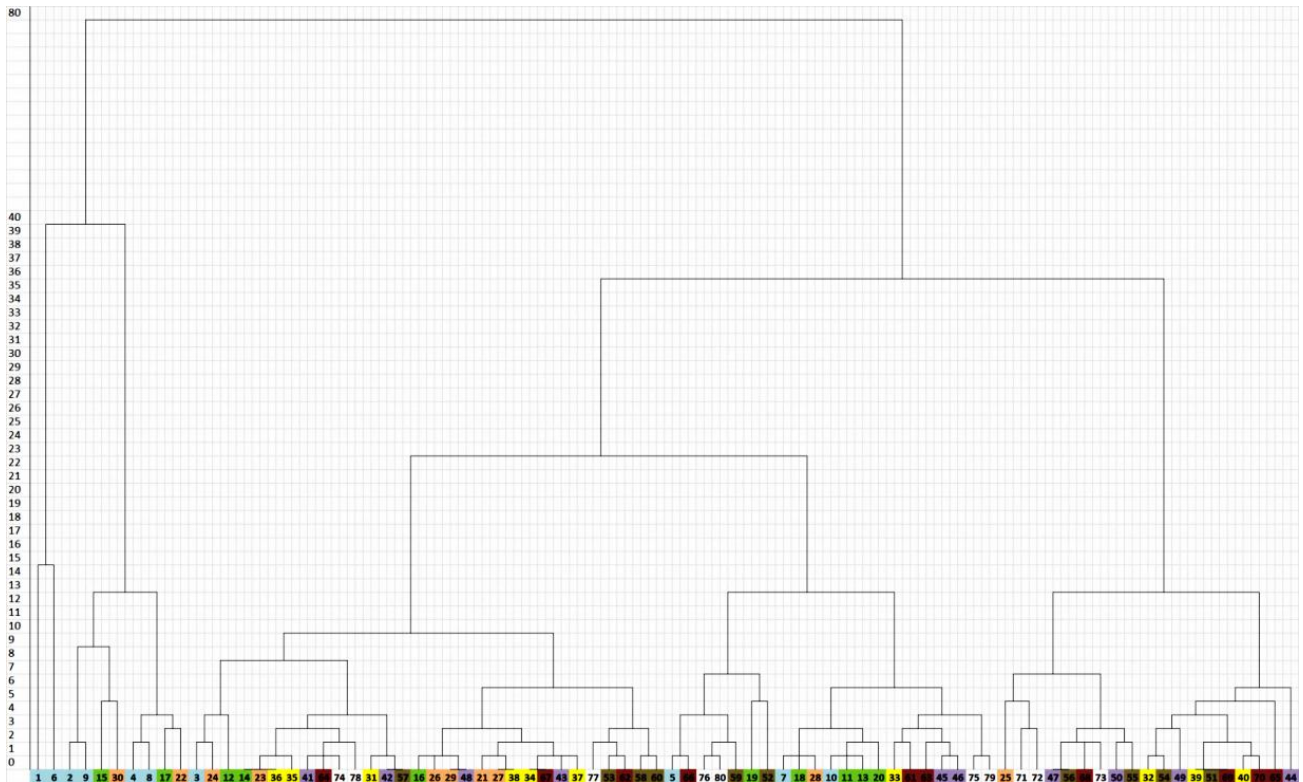


Рисунок 8 – Средство модельных деревьев по параметрам содержание деструкций (%) / средняя скорость импульса (м/мин) на высоте груди

Таблица 5 – Основные физико – механические показатели стволовой древесины *Pinus sylvestris* L.

№ ПП	Средний возраст, лет	Средняя ширина годовичного слоя, мм	Относительная плотность, %	Средняя плотность, кг/м ³	Доля нарушенной древесины, %		
					на нач. стадии	на разв. стадии	общая
1	61,5	2,36	13,3	101,2	18-66	0-51	20-76
2	74	2,26	18,7	139,7	0-49	0-68	27-68
3	70,5	1,65	15,0	113,2	0-31	0-48	18-48
4	78,5	1,84	14,9	103,8	21,5-61,5	0-33,5	25,5-61,5
5	57	1,98	14,4	107,6	7,5-38	0-17,5	14,5-40
6	64,5	2,11	13,4	100,4	5-35	0-22,5	23,5-43
7	45	2,60	14,0	104,4	6-40	0-11,5	6-46
8	83,5	1,82	14,8	111,4	0-42	0-24,5	7,5-51,5

Средняя ширина годовичного слоя за счет лучшего светового режима достигает 2,36 мм, что на 30% выше стандартных данных. При этом плотность древесины, полученная при компьютерной обработке результатов резистограмм, ниже стандартной для условий Восточной Сибири в 4,2 раза.

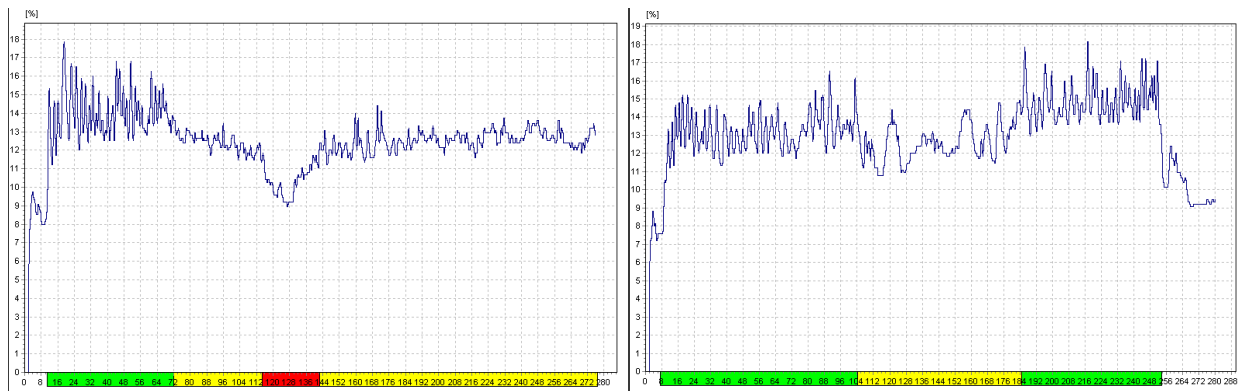


Рисунок 9 – Резистограммы модельных деревьев №5 и 9 (зеленым цветом выделена здоровая древесина, желтым – начальная стадия деструкции, красным – деструкция на развитой стадии)

Согласно полученным результатам, участки профиля сверления, на которых возможно развитие деструктивных процессов, можно выделить на всех исследованных образцах. Общее содержание древесины с пониженными показателями плотности выше, чем в контрольных образцах на фоновой пробной площади. В 60% модельных образцов экспериментальных площадей доля нарушенной древесины составляет от 20 до 40%. На фоновой пробной площади 60% модельных образцов имеют участки пониженной плотности начальной стадии деструкции менее 20% профиля сверления.

Дендрограмма, полученная в результате обработки данных измерений, по параметрам содержания деструкций (%) / среднее сопротивление сверлению приведена на рисунке 10.

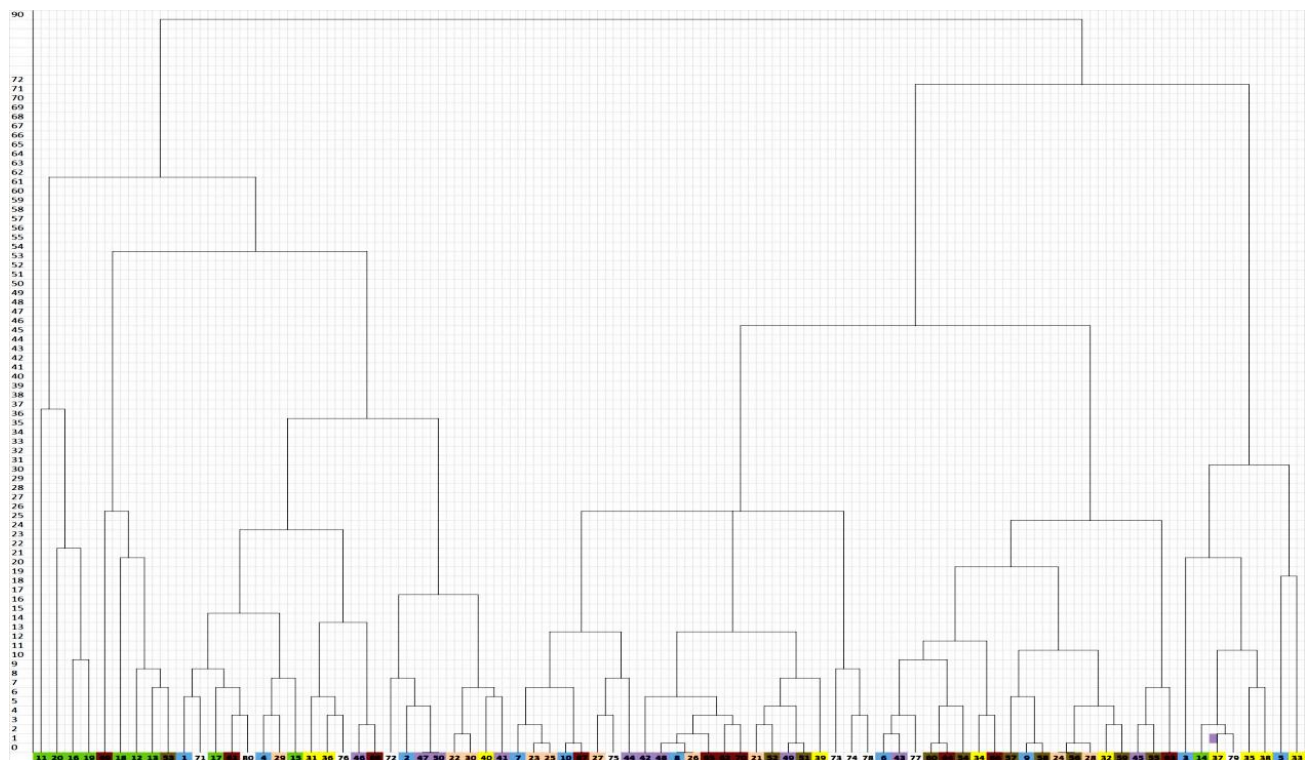


Рисунок 10 – Сродство модельных деревьев по параметрам содержание деструкций (%) / среднее сопротивление сверлению (усл. ед.)

Высокую степень обособления значений демонстрируют модельные деревья площадей №2 и 4. Согласно расчетам, показатели площадей 1-4 имеют более тесно сродство между собой, нежели прочие площади.

6. РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСИНЫ *PINUS SYLVESTRIS* L. КОМПЛЕКСНЫМИ МЕТОДАМИ

Для получения более полной картины состояния древесины исследуемых пробных площадей необходимо произвести сопоставление результатов, полученных с использованием различных методов анализа. На основании данных инструментальных измерений состояния древесины был проведен перекрестный кластерный анализ в двух вариантах подбора параметров:

- на основании прямых измерений прибора (скорости прохождения импульса через древесину и ее сопротивления сверлению);
- на основании результатов интерпретации томограмм и резистограмм (доля нарушенной древесины в профиле).

Результаты приведены на рисунках 11 и 12.

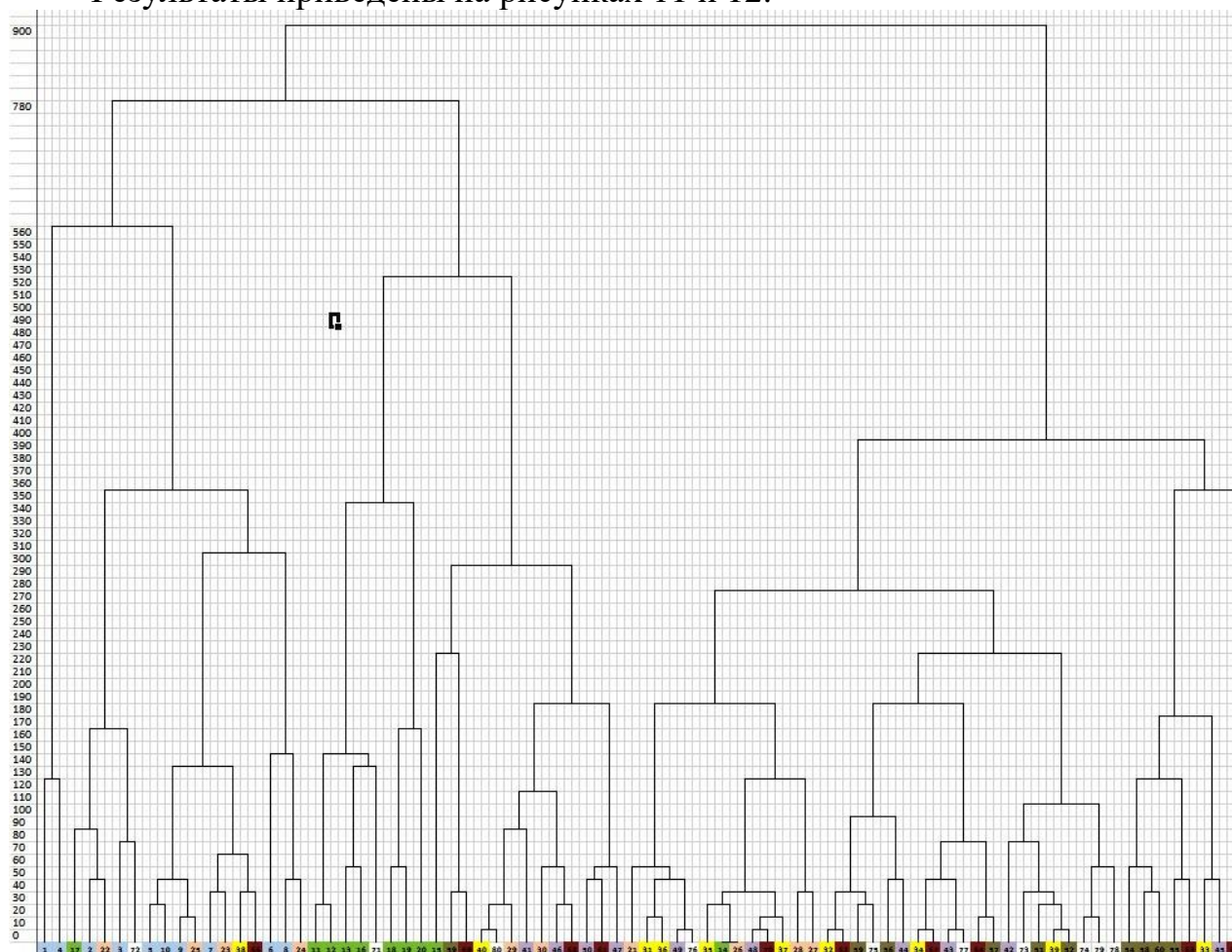


Рисунок 11 – Сродство модельных деревьев по параметрам средняя скорость импульса (м/мин) /среднее сопротивление сверлению (условные единицы)

Перекрестный анализ данных импульсной томографии и определения сопротивления сверлению подтвердил отсутствие значимого отличия показателей площадей № 4-7 от фоновых значений площади №8. Относительно

высокую селективность демонстрируют площади №1-3. При этом площади №1-3 объединяются параметром высокой рекреационной нагрузки, что дает основание предполагать превалирующее значение данного фактора в развитии внутренних деструкций древесины *Pinus sylvestris* L.

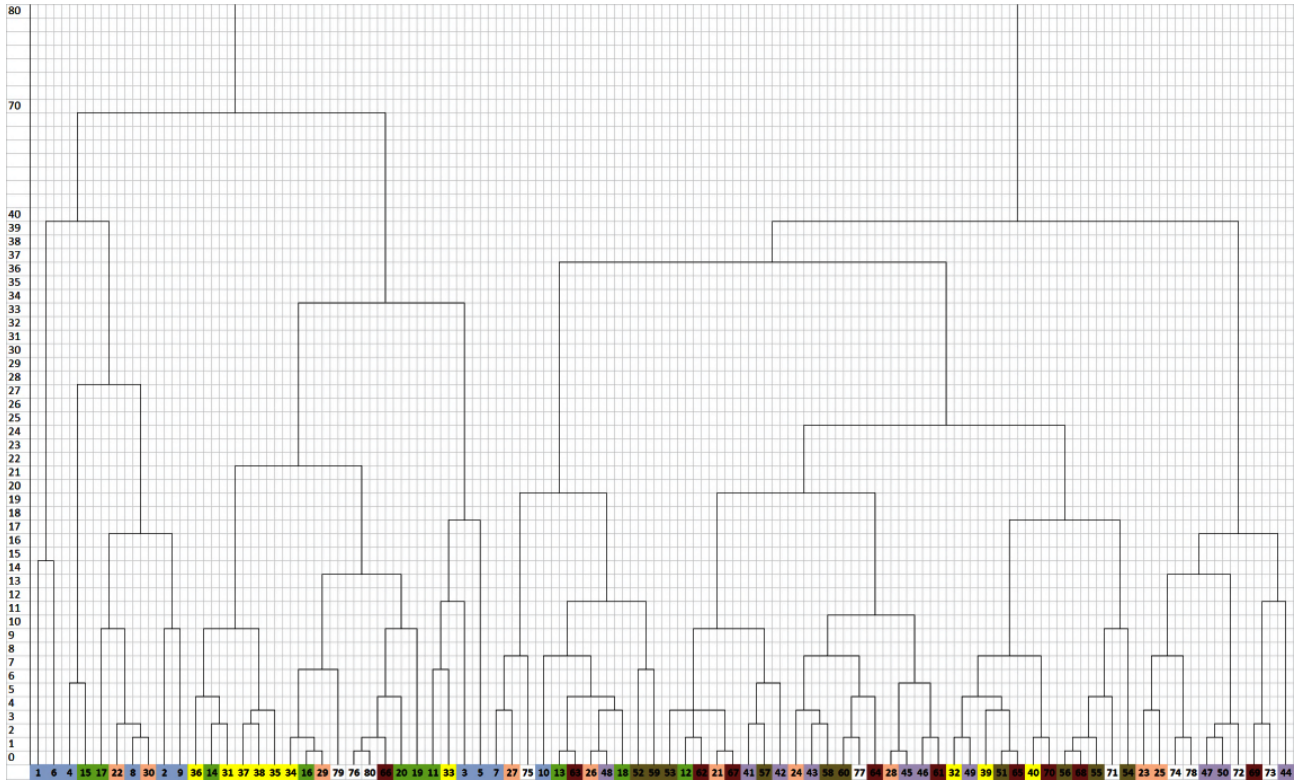


Рисунок 12 – Средство модельных деревьев по содержанию нарушенной древесины (%) согласно томограммам и резистограммам

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Согласно результатам статистической оценки биометрических параметров исследованных древостоев, выявлено нарушение в естественном распределении деревьев в урбоэкосистемах. Показатели фоновой пробной площади полностью соответствуют нормальному распределению, в то время как антропогенно нарушенные территории в большинстве случаев (6 из 7 площадей) ему не соответствуют. Данное изменение выявлено как на пробных площадях с преобладанием химического фактора воздействия, так на площадях с повышенной рекреационной нагрузкой.

2. На основании санитарной оценки состояния растущих деревьев в г. Братске можно сделать вывод об общей угнетенности древостоев, большой подверженности заражению вредителями, усыханию, поверхностной и внутренней деструкции. Доля экземпляров деревьев с частичным усыханием кроны из общей выборки на площадях №1-5 составила от 24 до 92%, в то время как для фоновой площади установлен показатель в 1%. Это также подтверждается повышенной встречаемостью на данных площадях усыхающих деревьев по классификации Крафта – до 20% выборки.

3. На пробных площадях, подверженных высокому уровню рекреационной нагрузки, прослеживается значительное увеличение встречаемости внешних пороков ствола: у 66-81% выборки наблюдается более 2 разновидностей пороков на 1 стволе (на фоновой площади такие экземпляры отсутствуют); в 34-71% присутствуют следы стволовых вредителей (червоточины).

3. В результате проведенных инструментальных измерений достоверно не подтверждено увеличения частоты встречаемости внутренних пороков древесины в зависимости от химического загрязнения атмосферного воздуха и осадков. Пробные площади №5 и 8 по результатам кластерного анализа не формируют обособленных кластеров и не обладают значительным внутренним средством.

4. В результате проведенных инструментальных измерений не подтверждено увеличения частоты встречаемости внутренних пороков древесины в зависимости от уровня рекреационной нагрузки. Однако было зафиксировано значительное увеличение доли деревьев с деструкцией ствола свыше 30%: для фоновой пробной площади, 3,75% для пробных площадей №4-7 с низкой рекреационной нагрузкой и 40% для пробных площадей №1-3 с высокой рекреационной нагрузкой. Также согласно результатам кластерного анализа, пробные площади №1-3 обладают высокой степенью селективности по большинству разрезов сравнения как от показателей пробных площадей №4-7, так и от фоновых значений.

5. Отмечено значительное снижение возраста активного развития деструкции древесины. Интенсивность поражения растущих деревьев внешними пороками древесины на исследованных пробных площадях превышает фоновые значения; развитие внутренних деструкций ствола отмечается на всех исследованных модельных деревьях. При этом средний возраст дендроценоза для фоновой площади составляет 83,5 года, а для рассмотренных урбодендроценозов от 45 до 78,5 лет (64,4 года в среднем по выборке). Таким образом, возраст наступления фазы активной деструкции под влиянием антропогенного воздействия снижен на 23% от фоновой зоны.

6. Подтверждена высокая эффективность перекрестного анализа двумя инструментальными методами испытания с применением кластерного анализа для обобщения полученных результатов.

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ПРИМЕНЕНИЮ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

В связи с заметным ухудшением санитарного состояния городских насаждений сосны обыкновенной под влиянием антропогенной нагрузки необходимо осуществлять регулярный мониторинг ее внутреннего состояния с использованием методов неразрушающего контроля древесины. Повышенное внимание следует уделять насаждениям, входящим в городские парковые зоны и подвергающимся повышенной рекреационной нагрузке. В зонах, подверженных повышенному воздействию поллютантов, рекомендуется сочетать естественные насаждения *Pinus sylvestris* L. с породами, обладающими

повышенной газоустойчивостью (черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), береза повислая (*Betula pendula* Roth), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.)), для улучшения эстетических характеристик насаждений.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В журналах из списка, рекомендованного ВАК:

1. Рунова, Е.М. Применение инструментальных методов при оценке состояния стволов *Pinus sylvestris* L. / Е.М. Рунова, И.А. Гарус, А.Н. Мухачева // Лесотехнический журнал. - 2020. - Т. 10, № 3 (39). - С. 72-85.
2. Рунова, Е.М. Состояние *Pinus sylvestris* L. в условиях высокой антропогенной нагрузки / Е.М. Рунова, И.А. Гарус, А.Н. Мухачева // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. - 2020. - № 4 (61). - С. 144-152.
3. Мухачева, А.Н. Оценка состояния урбодендроценозов г. Братска методами неразрушающего контроля древесины / А.Н. Мухачева, Е.М. Рунова, И.А. Гарус // Успехи современного естествознания. - 2020. - № 12. - С. 23-30.

В журналах, индексируемых в Scopus:

4. Runova, E.M. Instrumental Assessment of Scots Pine Trees (*Pinus sylvestris* L.) / E.M. Runova, I.A. Garus, A.N. Mukhacheva, V.A. Savchenkova // Opcion. - 2019. - V. 35, № Special Issue 19. - P. 617-636.

Публикации в прочих изданиях:

5. Рунова, Е.М. Оценка качества деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / Е.М. Рунова, И.А. Гарус, А.Н. Мухачева // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. – Брянск: БГИТУ, 2019. – Вып. 54. - С. 144-148.
6. Мухачева, А.Н. Оценка состояния городских зеленых насаждений методом микросверления // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. – Брянск: БГИТУ, 2020. – Вып. 58. - С. 153-156.
7. Мухачева, А.Н. Оценка санитарного состояния урбодендроценозов г. Братска визуальными и инструментальными методами // The Scientific Heritage. - 2020. - № 57-2 (57). - С. 7-10.
8. Мухачева, А.Н. Анализ таксационных характеристик зеленых древесных насаждений г. Братска // The Scientific Heritage. - 2020. - № 57-2 (57). - С. 10-14.
9. Рунова, Е.М. Применение неразрушающих инструментальных методов контроля при оценке состояния древесины городских урбодендроценозов / Е.М. Рунова, А.Н. Мухачева, И.А. Гарус // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства: Сб. статей всеросс. науч.-практ. конф. - 2021. - С. 40-42.

10. Мухачева, А.Н. Оценка степени антропогенного влияния на дендроценозы г. Братска // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. – Брянск: БГИТУ, 2021. – Вып. 60. - С. 139- 141.

11. Мухачева, А.Н. Применение методов кластерного анализа при проведении оценки состояния древесных насаждений // Актуальные проблемы лесного комплекса: Сб. науч. тр. – Брянск: БГИТУ, 2021. – Вып. 60. - С. 191-193.