

ФГБОУ ВО «Братский государственный университет»

На правах рукописи

Мухачева Анастасия Николаевна

**Оценка воздействия антропогенных факторов среды на состояние  
дендроценозов города Братска неразрушающими методами контроля  
древесины**

Специальность: 06.03.02 – «Лесоведение, лесоводство,  
лесоустройство и лесная таксация»

Диссертация

на соискание ученой степени кандидата

сельскохозяйственных наук

Научный руководитель: доктор  
сельскохозяйственных наук, профессор

Рунова Елена Михайловна

Братск – 2022

## Оглавление

ВВЕДЕНИЕ .....	3
1 Современное состояние исследуемой проблемы .....	8
1.1 Особенности формирования древостоя урбоэкосистем.....	8
1.2 Природно-климатическая характеристика и уровень антропогенного загрязнения в районе исследования .....	14
1.3 Общая характеристика лесных и городских дендроценозов района исследований .....	17
1.4 Общая характеристика <i>Pinus sylvestris</i> L. ....	18
2 Методы исследования .....	21
2.1 Закладка пробных площадей .....	21
2.2 Визуальные методы оценки состояния древесных растений .....	24
2.3 Инструментальные методы оценки состояния растущей древесины.....	25
3 Таксационная характеристика объекта исследования .....	33
4 Результаты оценки состояния древесины <i>Pinus sylvestris</i> L. методом импульсной томографии.....	79
5 Результаты оценки состояния древесины <i>Pinus sylvestris</i> L. методом определения сопротивления сверлению .....	108
6 Результаты оценки состояния древесины <i>Pinus sylvestris</i> L. комплексными методами.....	127
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	132
Список использованных источников .....	135
Приложение .....	148

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследования.** Вопрос значимости зеленых насаждений как части городской среды неоднократно рассматривался во множестве научных исследований [6, 28, 32, 50, 69, 86]. 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 диссертационными исследованиями изучены работы отечественных и зарубежных ученых, посвященные оценке состояния урбоэкосистем [1, 3, 6, 11, 15, 16, 18, 20, 25, 28, 32, 37, 42, 65, 79, 85, 93, 94, 99, 102]. 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 (приложение 1).

**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 объёмом 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 Scopus).

Материалы исследовательской работы были применены при проведении экспертизы аварийности городских деревьев по запросу администрации города (акт внедрения приведен в приложении 1).

**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

### 1.1 Особенности формирования древостоя урбоэкосистем

Интенсивное увеличение числа городских жителей приводит к постоянному разрастанию и уплотнению городской застройки, что влечет за собой повышенную индустриализацию, рост промышленной, транспортной и коммунальной нагрузки на среду обитания человека. Согласно данным государственного доклада Министерства природных ресурсов и экологии РФ [61] в 2019 году в 40 городах Российской Федерации наблюдается высокий и очень высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха, в 35 из них максимальные разовые концентрации загрязняющих веществ десятикратно превышали предельно допустимые значения. В 2019 году негативному воздействию санитарно-гигиенических факторов были подвержены 93,4 млн. человек в 52 субъектах Российской Федерации (63,7 % населения страны), в том числе: 81,3 млн. человек подвержены факторам химической природы; 67,5 млн. человек – факторам физической природы. Интенсивное ухудшение состояния всех компонентов урбоэкосистем и превышение уровня допустимого негативного воздействия антропогенных факторов среды на здоровье человека в крупных городах и мегаполисах находят все большее отражение в исследованиях последних лет [12, 26, 67, 70].

Устойчиво возрастающая антропогенная нагрузка на здоровье городского населения привела к определенному «всплеску» исследовательского интереса к необходимости озеленения городов как санитарно-гигиенического мероприятия [4, 7, 19, 28, 42, 52, 68, 87, 96-97]. Попытки введения мер по улучшению санитарного-экологического состояния городов путем повышения озелененности предпринимаются также на государственном уровне. Примером может служить принятие федеральной программы «Формирование комфортной городской среды», методические рекомендации по подготовке которых утверждены Приказом Минстроя РФ от 6 апреля 2017 г. № 691/пр. [61], а также глава IX.1



Лесопарковые зеленые пояса Федерального закона от 10.01.2002 N 7-ФЗ, введенная Федеральным законом от 03.07.2016 № 353-ФЗ и Федеральным законом от 29.07.2017 № 280-ФЗ [92].

Влияние растительности на качество атмосферного воздуха определяется в первую очередь очевидным фактом ее участия в балансе системы «кислород-диоксид углерода» посредством фотосинтеза. Однако не менее важным аспектом для урбоэкосистем является газопылеулавливающая способность растительности, в частности древесной. Многочисленные исследования ученых [20, 27, 49, 93, 99, 102] подтверждают селективную устойчивость отдельных видов древесной растительности к воздействию типичных промышленных загрязнителей воздуха: сажи, сернистого газа, предельных и алифатических углеводородов, тяжелых металлов. Подобная устойчивость обеспечивает не только выживаемость самого вида в условиях загрязнения, но также связывание и аккумуляцию загрязняющих веществ в тканях растения с последующим выводом из воздушной среды, либо перераспределение концентрации вещества в атмосферном воздухе посредством «вторичного загрязнения» при испарении с поверхности листовой пластины. Такой эффект перераспределения загрязнений позволяет сгладить последствия выбросов с высокими максимально разовыми значениями.

По данным исследований [16, 72] к выбросам сернистого ангидрида высоко устойчивы вяз мелколистный (*Ulmus parvifolia* Jacq.), клен серебристый (*Acer saccharinum* L.), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), бузина черная (*Sambucus nigra* L.), клен американский (*Acer negundo* L.), карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), вяз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.) и другие; к окислам азота - некоторые разновидности клена (*Acer tataricum* L., *Acer saccharinum* L. *Acer platanoides* L.), тополя (*Populus simonii* Carriere) и другие. К повышенному содержанию аммиака в атмосферном воздухе устойчивы береза повислая (*Betula pendula* Roth), ива белая (*Salix alba* L.), каштан конский (*Aesculus hippocastanum* L.), некоторые разновидности тополя (*Populus balsamifera* L.), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.). К острым воздействиям фтористого водорода имеет высокую

устойчивость дуб черешчатый (*Quercus robur* L.), бересклет европейский (*Euonymus europaeus* L.), бузина красная (*Sambucus racemosa* L.); соляной кислоты – туя складчатая (*Thuja plicata* Donn ex D. Don), ель голубая (*Picea pungens* f. *glauca* Beissn.), сосна черная (*Pinus nigra* Arnold). Согласно исследованиям Е.С. Денисовой, Е.В. Алексеенко [26] высокой серопоглотительной способностью обладает тополь черный (*Populus nigra* L.); повышенной аккумуляцией фенолов характеризуются береза повислая (*Betula pendula* Roth), яблоня ягодная (*Malus baccata* (L.) Borkh.). В зимний период их частично могут заменить сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.). Высокие пылеулавливающие свойства наблюдаются у тополя черного (*Populus nigra* L.). Разница в результатах оценки, вероятно, объясняется различиями в почвенно-климатических условиях районов исследований.

Низкой устойчивостью к воздействию повышенных концентраций сернистого ангидрида в атмосферном воздухе характеризуются ель обыкновенная (*Picea abies* (L.) H. Karst.), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), лиственница европейская (*Larix decidua* Mill.), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), береза повислая (*Betula pendula* Roth.), клен остролистный (*Acer platanoides* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), яблоня домашняя (*Malus domestica* Borkh.); к повышенному содержанию окислов азота и аммиака - груша обыкновенная (*Pyrus communis* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.) и яблоня домашняя (*Malus domestica* Borkh.); фенолов - ива белая (*Salix alba* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), ясень обыкновенный (*Fraxinus excelsior* L.). К острому воздействию повышенных концентраций фтороводородной кислоты слабо устойчивы лиственница европейская (*Larix decidua* Mill.), ель обыкновенная (*Picea abies* (L.)), сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) и другие. К воздействию соляной кислоты высокую чувствительность имеет ель обыкновенная (*Picea abies* (L.)), береза повислая (*Betula pendula* Roth.), а к аммиаку – сосна веймутова (*Pinus strobus* L.).

К положительным аспектам влияния на химический состав воздуха можно отнести и выделение некоторыми видами растений фитонцидов с бактерицидным действием [49, 72]. К таким растениям относятся: береза повислая (*Betula pendula* Roth), клен серебристый (*Acer saccharinum* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), можжевельник обыкновенный (*Juniperus communis* L.), черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.).

Влияет древесная растительность также и на шумовое загрязнение. Кроны лиственных деревьев способны поглощать до 26% приходящейся на них звуковой энергии, отражать и рассеивать - до 74% в зависимости от вида растительности [75]. Величины снижения шума различными типами зеленых насаждений приводятся в рекомендациях по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов Минтранса РФ [73]. Придорожные зеленые насаждения способны одновременно снижать несколько видов негативного воздействия, являясь перспективным направлением в экологизации архитектуры городов [30].

Под средоформирующей функцией городских зеленых насаждений можно объединить их влияние на температурный режим, инсоляцию, теневой режим пешехода, подвижность воздуха, влажность, структуру почвенного покрова и прочее. Согласно данным, обобщенным Л.Б. Лунцем [48], на озелененных участках города температура в летний период ниже, а зимний период выше, чем на открытой городской застройке. Разница температур может достигать 10-12%, значительно сокращается амплитуда колебаний. Скорость ветра у входа в городской парк снижается в 7 раз [29, 75], а относительная влажность в летний период повышается на 5-10%.

В зависимости от предназначения конкретной зоны озеленения и условий среды для ее размещения индивидуально подбираются: видовой состав, плотность посадки, пространственное расположение растений, общая высота насаждения и другое. Решение вопроса планировки зеленых зон городов непосредственно связано с третьей функцией городской растительности - архитектурно-планировочной. Парки и аллеи позволяют визуально и функционально

объединить разрозненные участки застройки между собой и с нефункциональными элементами (оврагами, поймами рек, перепадами рельефа), приводя к общей гармонизации городской среды.

Таким образом, городская растительность имеет ряд крайне значимых функций в урбоэкосистеме в целом. Однако подобные неестественные условия произрастания оказывают серьезное влияние на состояние дендроценозов.

Несмотря на повышенную газопылеустойчивость отдельных видов растительности, воздействие высоких концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе всегда сказывается на ее биохимии, физиологии и морфологии. Степень изменений зависит от концентрации поллютанта и длительности воздействия. Среди возможных последствий выделяют: снижение ассимиляционной активности; уменьшение содержания хлорофилла, аскорбиновой кислоты, клетчатки, белков; изменение активности ферментов; изменение проницаемости клеточных мембран; подкисление клеточного сока; нарушение водного баланса, снижение тургора, нарушение процесса транспирации; изменение роста и искривление побегов; нарушение репродуктивных процессов; усыхание, хлороз и некроз тканей; сокращение радиального прироста древесины, изменение продуктивности и структуры кроны [9, 10, 14, 18, 19, 37, 64, 78, 80, 88].

К хроническому загрязнению в значениях ниже предельного уровня (ПДК среднесуточного) живые организмы способны со временем адаптироваться. Например, окислы серы и азота, сероводород могут усваиваться растительностью с переходом в доступные формы (сульфат, нитрат) с увеличением тиоловых соединений. Повышенный уровень тиолов способствует связыванию тяжелых металлов в инертные формы. Также устойчивость растений может искусственно повышаться уходовыми процедурами (дополнительным поливом в период снеготаяния, удобрением и т.д.).

В крупных городах происходит заметное искажение климатических условий. Под воздействием искусственных источников тепла бытового и промышленного происхождения повышается температура среды. В среднем ее

значения в пределах «тепловой шапки» города превышают показатели пригородной зоны на 0,5-5,0 °С [14]. В северных регионах подобный эффект может положительно сказаться на продуктивности растительности, однако в засушливых регионах чрезмерное нагревание поверхностей (почвы и асфальтобетонных конструкций) может стать опасным. Несмотря на то, что над городами количество выпадающих осадков больше, нежели в пригородных зонах, городские растения нередко испытывают дефицит влаги. Такая ситуация складывается в связи с отводом большей части ливневого стока в канализацию. В результате существование высокопродуктивной зеленой растительности в городской черте становится маловероятным без системы искусственного полива, происходит смещение видового разнообразия и перераспределение экотипов в сторону ксерофитизации.

Световой режим в городской среде характеризуется значительным сокращением объема поступающей солнечной радиации. Это обусловлено, в первую очередь, высокой степенью запыленности и загазованности атмосферного воздуха, частой повторяемостью туманов, смогом [14, 22]. При плотной застройке растения оказываются в условиях повышенного затенения, что также негативно сказывается на их развитии.

В результате совокупного воздействия комплекса антропогенных факторов на жизнедеятельность городских деревьев их жизненный цикл заметно сокращается. По данным Л.О. Машинского [22] предельный возраст деревьев сокращается в 2-10 раз. Ослабленность городских древесных растений способствует развитию болезней и вредителей [16, 29, 31, 33, 42]. К распространенным болезням городской растительности относятся: пятнистость листьев и некроз ветвей, бурая пятнистость, цитоспороз, ржавчина, мучнистая роса, нектриевый рак стволов и ветвей и другие. 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). В связи с тем,

что плодовые тела нередко образуются лишь на последних этапах заражения, выявление таких гнилей весьма затруднительно. На данный момент вопрос оценки дендрофлоры урбоэкосистем по степени пораженности гнилями освещен недостаточно [24, 31-33, 40-42, 76].

Совокупное воздействие природных и антропогенных нагрузок на здоровье городских дендроценозов приводит к существенному снижению их важнейших для урбоэкосистем характеристик: санитарных и средоформирующих свойств, эстетической ценности и, в результате, безопасности. Угнетенное, пораженное внутренними и внешними болезнетворными процессами дерево не только не способно повысить комфортность среды обитания человека, но и несет потенциальную угрозу: является источником заражения для других компонентов экосистемы, повышает риск «повторного загрязнения», снижает эффективность посадки в целом, несет повышенный риск ветровала, что в условиях города может повлечь за собой человеческие жертвы.

С учетом вышесказанного острой необходимостью приобретает разработка системы регулярного контроля состояния городской древесины «на корню» для обеспечения своевременного ухода за насаждением.

## **1.2 Природно-климатическая характеристика и уровень антропогенного загрязнения в районе исследования**

Исследования, проведенные в рамках данной работы, производились на территории г. Братска. Братский район расположен на северо-западе Иркутской области, административный центр - город Братск.

Расположение области в глубине материка на значительном удалении от незамерзающих морей обуславливает формирование резко-континентального климата [1]. Во всем Братском районе характерна продолжительная суровая зима (до  $-35-40$  °С в городе и до  $-60$  °С – в районе) и короткое жаркое лето (до  $+25-30$  °С) [16, 21]. Братск относится к территориям, приравненным к районам

Крайнего Севера. Средняя температура воздуха согласно данным метеорологической станции Братск Братского центра по гидрометеорологии для наиболее холодного месяца (января) составила  $-20,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ , для наиболее жаркого месяца (июля)  $24,1\text{ }^{\circ}\text{C}$  [23, 58]. Заморозки начинаются 25 августа - 10 сентября и заканчиваются 2-10 июня. Количество осадков в год составляет 370-460 мм. Снежный покров сохраняется в течение 175-180 дней в году [15, 17, 22].

Согласно данным синоптиков [42] среднегодовая повторяемость юго-западных, южных, юго-восточных ветров в городе примерно 37%, штилей 10%. Повторяемость ветров северных, северо-восточных и восточных направлений 17%. Повторяемость северо-западных ветров составляет примерно 12%. Среднегодовая роза ветров представлена на рисунке 1.1 [58].

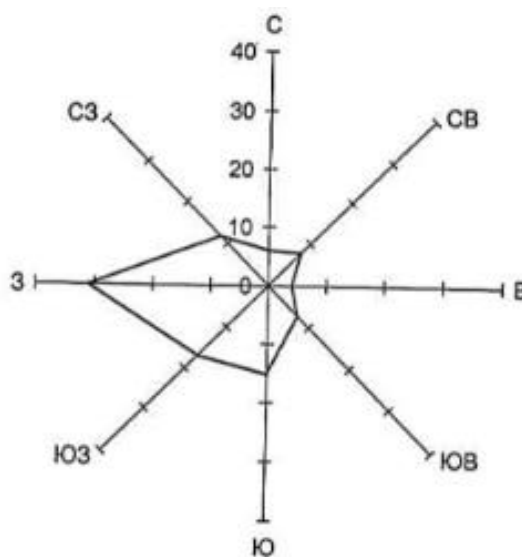


Рисунок 1.1 – Средняя годовая роза ветров г. Братска

Преобладающим типом почв для района исследования являются дерново-карбонатные выщелоченные и дерново-подзолистые почвы [15, 59].

Согласно материалам Минприроды Иркутской области [23] уровень загрязнения атмосферного воздуха в Братске оценивается как «очень высокий». Братск регулярно включается в Приоритетный список городов с наибольшим уровнем загрязнения атмосферы.

Согласно официальным данным [23] в г. Братск в 2019 году среднегодовые концентрации превышали допустимые нормы (ПДК) по взвешенным веществам в 1,3 раза, по сероуглероду – в 1,2 раза, по бенз(а)пирену в 5,6 раз. Максимальные разовые концентрации превышали ПДК по взвешенным веществам в 1,4 раза; оксиду углерода – 2,3; диоксиду азота и сероуглероду – 1,9; сероводороду – 1,6; формальдегиду – 1,1; фторида водорода – 2,2; твердых фторидов – 1,3. Максимальная из среднемесячных концентраций бенз(а)пирена составляла 31,6 ПДК. В 2016 году этот показатель имел рекордное значение – 80,3 ПДК. Совокупность природно-климатических характеристик регулярно формирует в районе города Братска обстановку, препятствующую нормальному рассеиванию примесей в атмосфере. По данным Братского ЦГМС [47, 51] на территории города в среднем 77% дней в году объявляются неблагоприятные метеорологические условия для рассеивания вредных примесей в атмосфере (НМУ).

К наиболее загрязненным водным объектам Иркутской области в целом относятся река Вихорева и Усть-Илимское водохранилище. Река Вихорева относится к территории города Братска, он же является главным источником ее загрязнения благодаря сточным водам ПАО «Группа «Илим» в г. Братске и хозяйственно-бытовым стокам водоканала города. По степени загрязненности вода реки в наблюдательном пункте с. Кобляково оценивается как «грязная». Характерными загрязняющими веществами являются лигнин, фенолы, азот аммонийный, формальдегид, органические вещества.

Столь высокий уровень антропогенной нагрузки не мог не найти отражения в научных исследованиях. Результаты государственного мониторинга подтверждаются рядом публикаций об уровне загрязнения атмосферного воздуха [6, 27, 34, 47, 85], осадков [35, 98], водных ресурсов [65, 66], почв [60] и других компонентов окружающей среды города Братска и Братского района. В том числе имеется ряд исследований состояния древостоев района [76, 78, 80], однако данный раздел является наименее изученным.



### 1.3 Общая характеристика лесных и городских дендроценозов района исследований

К основным лесообразующим породам Иркутской области относятся: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.), лиственница сибирская (*Larix sibirica* Ldb.), кедр (*Pinus sibirica* Du Tour), ель сибирская (*Picea obovata* var. *Obovata*), пихта сибирская (*Abies sibirica* Ldb.), кедровый стланик (*Pinus pumila* (Pallas) Regel), береза пушистая (*Betula pubescens* Ehrh.), осина (*Populus tremula* L.), береза повислая (*Betula pendula* Roth). На территории Братского района преобладают южно - таежные и подтаежные природные комплексы Средней Сибири [21].

На долю зеленых насаждений приходится ориентировочно 26% общей территории Братска [20]. Для жилых районов города характерно преобладание следующих пород: 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).

Большая часть древесной растительности Братска имеет естественное происхождение, доля целенаправленно привнесенных газопылеустойчивых видов невелика. Среди встречающихся в селитебной зоне деревьев и кустарников лишь разновидности тополя (*Populus balsamifera* L. и *Populus suaveolens* Fisch) обладают подтвержденной устойчивостью к загрязнению атмосферного воздуха [20, 26, 49, 72, 86, 93, 99, 102]. Благодаря присутствию в экосистеме вечнозеленых растений минимальный уровень очищения воздуха обеспечивается даже в зимний период, однако, ввиду низкой устойчивости данных видов к антропогенным нагрузкам, эффективность подобного типа озеленения можно считать спорной.

Исследования последних лет отражают заметное угнетение дендрофлоры урбоэкосистемы города [38, 77, 79, 94]. При условии сохранения существующих тенденций в ее состоянии, городские лесные насаждения не только не смогут в полной мере выполнять свои санитарно-гигиеническую, средоформирующую и

архитектурно-планировочную функции, но и элементарно поддерживать жизнеспособное состояние.

В связи с вышеуказанным, острую необходимость приобретает точная оценка существующего состояния городской древесной растительности, ее поддержка и реконструкция. Перспективным направлением представляется постепенная замена части необратимо угнетенных деревьев на более устойчивые виды: черемуху обыкновенную (*Prunus padus* L.), карагану древовидную (*Caragana arborescens* Lam.), тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), тополь душистый (*Populus suaveolens* Fisch), сирень обыкновенную (*Syringa vulgaris* L.) и другие [15, 16, 72]. А также расширение посадки видов, зарекомендовавших себя в ходе систематических наблюдений в имеющихся природно-климатических условиях, как стабильно устойчивых.

Для реализации этих задач с учетом объемности работы и необходимости регулярного пополнения актуальных данных необходимо осуществить подбор методики характеризующейся малой скоростью исполнения, незначительностью механических повреждений древесины, высокой репрезентативностью и информативностью результатов, невысокими квалификационными требованиями к исполнителю работ. С учетом высокой распространённости на территории городской застройки и низкой устойчивости к антропогенным факторам негативного воздействия в качестве маркерной породы для исследования была выбрана сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.).

#### **1.4 Общая характеристика *Pinus sylvestris* L.**

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) относится к самым распространенным и ценным породам хвойных деревьев в России. Сосна обыкновенная относится к отделу *Pinophyta*, классу *Pinopsida*, порядку *Pinales*, семейству *Pinaceae*, роду *Pinus*.

Вечнозеленое древесное растение высотой до 40 м с обхватом ствола около 1 метра. Сосна – быстрорастущее дерево: годовой прирост ствола около 40 см в высоту и 30 см в ширину. У молодого дерева крона конусовидная, по мере роста она становится широкоокруглой, затем приобретает плоскую зонтиковидную форму. Кора светлая, краснобурая, трещиноватая, выше на ветках желтоватая, шелушащаяся. Хвоя темная, сизо-зеленая. Древесина сосны ядровая, смолистая. Буровато-красное ядро формируется в возрасте 30-35 лет, выделяется широкая заболонь. В структуре ствола четко визуализируются годовичные слои с многочисленными смоляными ходами [87]. Основу механической прочности ствола составляет древесина ядра. Механическую и проводящую функции в стволе сосны выполняют трахеиды, занимающие 90-95% объема ствола. Объем коры составляет 10-17% от общего объема ствола.

В пределах своего распространения сосна образует сплошные леса преимущественно на песчаных почвах; в смеси с елью и прочими видами она встречается и на подзолистых почвах в смешанных и хвойных лесах почти повсеместно [43].

Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) светолюбива, нетребовательна к составу почвы, но не переносит уплотнения, отличается повышенной морозо- и засухоустойчивостью, чувствительна к загрязнению воздуха. В ксилемном соке угнетенных сосен отмечена повышенная концентрация моноз, олигосахаров и аминокислот. В тканях таких сосен также ослаблены процессы биосинтеза полимерных соединений. При загрязнении атмосферного воздуха сернистым ангидридом деформируются и характеризуются слабым приростом годовичные кольца сосны [87].

Представители рода *Pinus* подвержены высокому риску поражения вредителями корневой системы, ствола и ветвей, хвои и семян. Сосняки часто подвергаются вспышкам массового распространения вредителей, очаги которых возникают в первую очередь в ослабленных насаждениях. 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. В зоне сильной загазованности фтористоводородными соединениями ослабленные деревья заселяют физиологические вредители, а затем – технические [15].

Дереворазрушающие грибы Иркутской области исследованы слабо. К наиболее часто встречающимся разновидностям в сосновых лесах относятся корневая и сосновая губки. Согласно имеющимся данным [15] наблюдается прямая корреляция между возрастом деревьев и их степенью их поражения гнилью.

В связи с большой распространенностью на территории исследования и высокой уязвимостью сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) к биотическим и антропогенным факторам условий произрастания, контроль внешнего и внутреннего состояния растущей древесины данного вида.

## 2 Методы исследования

### 2.1 Закладка пробных площадей

Объектом проводимого исследования являются урбодендроценозы г. Братска.

При закладке пробных площадей учитывались рекомендации ОСТ 56-69-83 от 01.01.1984 «Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки». Все пробные площадки заложены в типичных древостоях с учетом их распространения на объекте исследования. Адресная привязка пробных площадей производилась по визуальным ориентирам и адресам близлежащих городских сооружений. В связи с особенностями объекта исследования - пространственной неравномерностью и ограниченностью площади городских дендроценозов, пробные площади закладывались без соблюдения единых размеров. Для каждой пробной площади составлялся схематический чертеж с нанесением на него визуальных ориентиров местности и границ пробной площади с углами. Таксационная характеристика составлялась методом полного пересчета деревьев по ступеням толщины без разделения по ярусам в связи с отсутствием ярко выраженных пологов, отличающимися от основного яруса более чем на 20% [64].

С учетом различной степени антропогенной нагрузки в различных жилых районах г. Братска [35] для исследования состояния зеленых насаждений были заложены 7 пробных площадей и 1 фоновая (контрольная) пробная площадь вне зоны влияния промышленной и коммунальной деятельности города как показано на рисунках 2.1-2.3.

Расположение пробных площадей выбиралось с учетом (таблица 2.1):

- максимизации различия в уровне химического воздействия на фитоценоз. В качестве интегрального показателя загрязнения атмосферного воздуха и осадков использован суммарный показатель загрязнения снежного покрова, рассчитанный в работах О.В. Игнатенко, М.В. Сенченко, Н.А. Мещеровой, по семи ингредиентам [35].

- максимизации различия в уровне рекреационной нагрузки, установленной по классификации рекреационной дигрессии Казанской.

Таблица 2.1 – Параметры антропогенной нагрузки на пробные площади

№ пробной площади	Краткая характеристика пробной площади	Уровень химического воздействия	Стадия рекреационной дегрессии по классификации Казанской
1	Парковая зона на территории университетского комплекса. Вне зоны влияния основных предприятий города. По направлению факела выбросов котельной на твердом топливе.	Умеренный (100)	IV
2	Окраина городской парковой зоны. Вне зоны влияния крупных источников выбросов.	Умеренный (73)	IV
3	Парковая зона в центре жилого микрорайона. Вне зоны влияния основных промышленных предприятий города. По направлению факела выбросов котельной на твердом топливе.	Умеренный (100)	IV
4	Часть пригородного лесного массива, примыкающая к жилому микрорайону. Вне преобладающих направлений факелов основных промышленных предприятий. В зоне влияния крупных источников выбросов.	Умеренный (114)	II
5	Часть пригородного лесного массива, примыкающая к жилому микрорайону. По направлению факела выбросов основных промышленных предприятий города.	Высокий (200)	II
6	Часть пригородного лесного массива, примыкающая к жилому микрорайону. По направлению факела выбросов основных промышленных предприятий города.	Высокий (165)	II
7	Часть пригородного лесного массива, примыкающая к жилому микрорайону. Вне преобладающих направлений факелов основных промышленных предприятий. В зоне влияния крупных источников выбросов.	Умеренный (95)	II
8	Братский район, по направлению трассы Братск-Усть-Илимск. Вне зоны влияния промышленной и бытовой деятельности.	Фоновые значения	I



Рисунок 2.1 – Зоны расположения пробных площадей (1 – пробные площади № 1-3; 2 – пробные площади № 4-7; 3 – фоновая пробная площадь)



Рисунок 2.2 – Расположение пробных площадей №1-3 в жилом районе «Энергетик»

Размер пробных площадей устанавливался с расчетом, чтобы на каждой из них и находилось 200-250 деревьев сосны. Это обеспечило определение среднего диаметра и других таксационных показателей с точностью до  $\pm 2-3\%$ .



Рисунок 2.3 – Расположение пробных площадей №4-7 в жилом районе «Центральный»

## 2.2 Визуальные методы оценки состояния древесных растений

При оценке состояния древесных насаждений самым применимым методом является визуальная оценка. Это объясняется практически полным отсутствием материальных затрат, за исключением стоимости трудовых ресурсов оценщиков и транспортных расходов, технической простотой осуществления, а также давностью методологических основ.

Визуальные методики оценки нашли свое отражение даже в действующих нормативно-правовых актах. Например, шкала категорий состояния деревьев, утвержденная Постановлением Правительства РФ от 09.12.2020 N 2047 [71].

Достаточно популярна 5-балльная шкала оценки жизненного состояния деревьев, разработанная В.А. Алексеевым [5]. С ней в целом совпадает пятибалльная шкала, представленная в труде Ботанического института им. Комарова [50].



Помимо комплексных оценок состояния дендрофлоры, визуальные методы активно применяются экспресс - оценок негативного воздействия. Например, изменение морфометрических показателей хвои сосны и лиственницы [2, 39, 89], дефектность шишек и семян [2], степень поврежденности листовых пластин болезнями и вредителями [39] и другие.

К положительным сторонам визуальных методик исследования, безусловно, относятся простота организации и технического исполнения исследования, экспрессность и отсутствие необходимости нарушения целостности отдельных деревьев или древостоя. Однако низкая точность, вследствие субъективности количественной оценки параметров, сказывается на интерпретации результатов. Также стоит отметить, что визуальные методы не позволяют провести оценку состояния древесины ствола, ветвей и корней при отсутствии внешних проявлений патологий. В результате такие дефекты как: метиковые и отлупные трещины, закрытый рак, внутренние грибные поражения (в том числе гниль).

С учетом вышеизложенного, при проведении исследования были составлены лесоводственно-геоботанические описания пробных площадей, осуществлен сплошной переѐт по двухсантиметровым ступеням толщины. Полученные данные были обработаны с использованием статистических методов.

Наличие пороков ствола и кроны, степень оголенности корневой системы определялось и фиксировалось визуально. Общее состояние каждого дерева оценивалось по шкале категорий состояния деревьев [71] и классификации Крафта.

### **2.3 Инструментальные методы оценки состояния растущей древесины**

Современные инструментальные методы исследования способны дать исчерпывающую характеристику структуры древесины. Рентгенографическое исследование, магнитно-резонансная томография, электронная сканирующая микроскопия позволяют достоверно определить вид, форму, размеры и

положение пороков древесины, наличие инородных тел, размеры и форму годичного слоя и его составных частей, размеры микроструктурных элементов и пор, степень разрушения клеток, породу древесины и многое другое [45]. Однако все эти эффективные методики на данном этапе развития техники применяются исключительно в лабораторных условиях. Это обусловлено как стационарностью и тонкостью настройки оборудования, ее высокой стоимостью и сложностью эксплуатации, так и вопросами безопасности человека и среды (в случае рентгенографии). Таким образом, их сложно или совершенно невозможно применять в целях мониторинга живой флоры.

Стандартные методы полевых и лабораторно-полевых исследований состояний древесины (такие как взятие керна) информативны и практичны, однако обладают большой степенью инвазивности [12]. При выполнении процедуры изъятия керна опасность для растения несет не только проникновение инородного тела в структуру древесины с возможностью занесения сторонней инфекции, но и полость, остающаяся на месте этого изъятия. Даже при условии соблюдения всех мер безопасности риск загнивания в этом месте значительно повышается. Если дерево уже ослаблено, разрушение и/или заражение вследствие механического нарушения целостности тканей еще более вероятно. Также в случае, если гниль уже начала развиваться в толще ствола, при изъятии керна создаются дополнительные условия для ее укоренного распространения. Чем глубже рана, тем потенциально значительней она с точки зрения начала распада. Мелкие отверстия, которые охватывают не более чем два годичных кольца, несут самые низкие риски.

С учетом ценности городских древесных насаждений при подборе оборудования для проведения исследования предпочтение было отдано менее инвазивным методам оценки качества древесины [105, 111, 112].

Первым выбранным методом исследования является метод оценки сопротивления древесины сверлению. Согласно оценкам некоторых специалистов [95] современное оборудование, основанное на данном методе, не уступает в

точности рентгенографии. Лидером в этой области является немецкая компания Rinntech и ее оборудование Resistograph® [106].

Resistograph® представляет собой металлический корпус в виде трубы, с размещенной в нем тонкой буровой иглой и механизмом подачи. Для проведения измерения корпус прибора прислоняется к внешней поверхности ствола и в древесину со скоростью 500 мм в минуту подается буровая игла толщиной 1-3 мм. По мере продвижения иглы сквозь материал производится электронное измерение и фиксирование плотностных сопротивлений с синхронным выводом результатов на встроенный принтер в виде резистограмм и сохранением на флеш-накопителе.

Сверление производилось на высоте груди (110-130 см) в двух перпендикулярных направлениях (рисунок 2.4). Результаты двух измерений, полученных на одном модельном дереве, усреднялись для нивелирования погрешности измерения. Данная процедура была введена в связи с точечностью проведения измерения и, как следствие, возможным искажением цельной картины профиля. На рисунке 2.5 приведен пример двух резистограмм, полученных с одного модельного дерева. На данном примере наглядно представлена возможность значительного расхождения показаний прибора при изменении направления сверления.

При проведении оценки на резистограммах зеленым цветом выделяется здоровая древесина, желтым – начальная стадия деструкции, красным – деструкция на развитой стадии. Программное обеспечение Resistograph® Decom не включает в себя образцовую градуировочную шкалу, которая бы позволила провести прямую интерпретацию результатов в зависимости от показателей прибора. Для расшифровки полученной резистограммы необходимо провести экспертную оценку графика с учетом полного рисунка профиля, наличия перепадов высот в нем и искажений естественных колебаний плотности между ранней и поздней древесиной.



Рисунок 2.4 – Пример проведения измерения с использованием Resistograph®

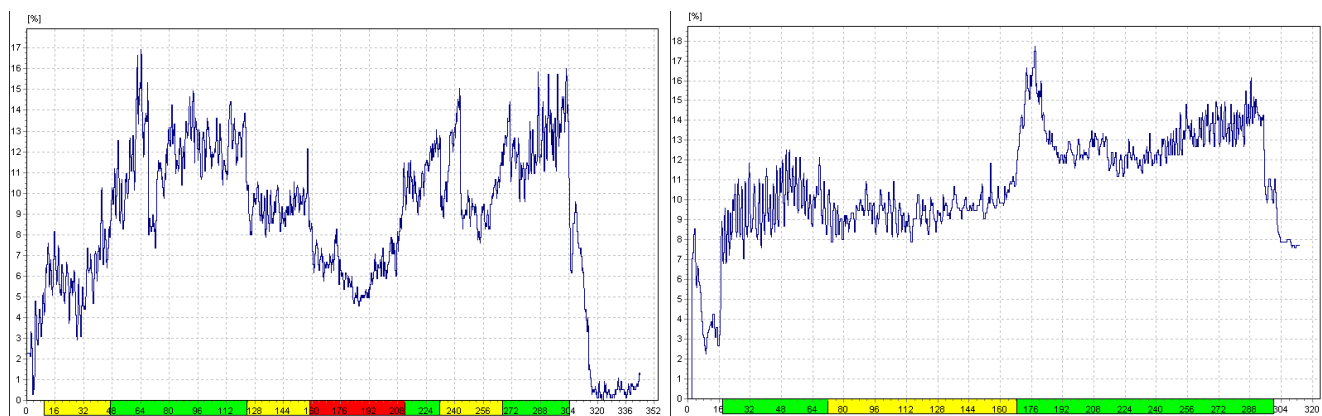


Рисунок 2.5 – Пример резистограмм перпендикулярных профилей для модельного дерева №80

Этот метод нельзя признать полностью неинвазивным: при проведении измерения выполняется сквозное просверливание ствола. Однако возможность появления негативных последствий по сравнению с методом взятия керна

значительно снижена благодаря крайне малому диаметру используемого сверла. Данный метод активно применяется исследователями при необходимости проведения экспресс - оценки состояния городских деревьев [3, 43, 44, 69, 74, 89].

Вторым выбранным методом исследования является метод импульсной (акустической) томографии. В настоящее время наибольшее распространение в данном направлении измерений приобрели приборы Picus (Argus Electronic), Arbotom (Rinntech) и ArborSonic (Fakopp) [100, 101]. В данном исследовании применялся прибор Arbotom®.

Принцип действия импульсной (звуковой) томографии основан на измерении скорости прохождения звукового импульса через древесину и формирования на основе полученных данных цветного графического изображения (томограммы). В твердой среде скорость звука зависит от типа волны и эластичности, и плотности материала, влажности, температуры и анатомического направления, в котором звук передан [107, 108, 111].

С внешней стороны ствола по окружности в исследуемой плоскости размещаются многофункциональные сенсоры. В них имеется виброметр и электронная схема определения реального времени прохождения поступающих импульсов, таким образом, каждый из сенсоров является как излучателем, так и приемником сигнала. Они соединяются кабелями в последовательную цепь и подключаются к персональному компьютеру с предварительно установленным специализированным программным обеспечением. После получения и обработки данных с сенсоров программа рассчитывает и оценивает измеряемые параметры и представляет их в виде матриц, линейных и плоскостных цветных построений. Зоны с различными показателями скорости прохождения импульса визуально определяются на основании градуировочной шкалы цветов, формируемой в диапазоне полученных в ходе измерения значений. Arbotom® также как и Resistograph® не использует стандартизированных градуировочных шкал. При анализе полученных изображений следует учитывать средний показатель плотности, плотность основной части сечений ствола, геометрию распределения плотностей (размер и степень локализованности ядра понижения плотности).

В рамках данного исследования измерения проводились на высоте 30-60 см и 110-150 см. Пример процедуры проведения измерений приведен на рисунке 2.6. Пример полученных графиков приведен на рисунке 2.7.



Рисунок 2.6 – Пример проведения измерения с использованием прибора Arbotom®

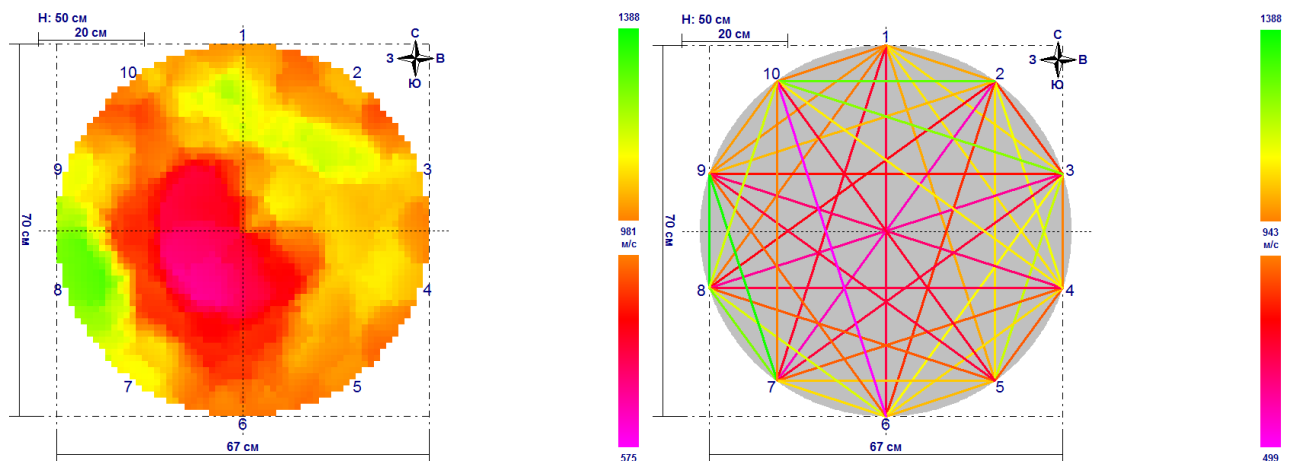


Рисунок 2.7 – Пример плоскостного графика Arbotom® - томограммы (слева) и линейного графика (справа)

Использование импульсной томографии позволяет составить значительно более полную картину расположения структурных элементов ствола относительно друг друга по сравнению с иными методами неразрушающего контроля, однако имеет меньшую точность локализации данных. Трудоемкость и сложность интерпретации результатов измерений является одной из причин немногочисленности имеющихся на данный момент исследований с использованием Arbotom® [8, 48, 50, 91, 100, 101, 103-105, 108-110].

В рамках настоящего исследования измерения проводились на каждой пробной площади на 10 модельных деревьях, характеризующихся наиболее типичными для данной площади морфологическими параметрами (внешнее состояние ствола и кроны, диаметр и высота ствола, наличие внешних пороков древесины, общее санитарное состояние). Общий объем инструментальных измерений составляет 320 единичных измерений (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Объем инструментальных измерений состояния сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в рамках исследования

Количество измерений с использованием Resistograph®	Количество измерений с использованием Arbotom®	
	На высоте груди	На высоте шейки корня
160	80	80

Для приборов Resistograph® и Arbotom® на данный момент отсутствуют стандартизированные шкалы нормальных плотностей древесины. На основании анализа официально опубликованных материалов других авторов [8, 44-46, 48, 69, 76, 95, 100, 101, 104-108, 110-112] было принято решение о выявлении деструкции начальной стадии развития при снижении показателя средней плотности на 16-29%, и выявлении деструкции развитой стадии при снижении показателя более чем на 30%. Также в расчет принималось нарушение характерного «рисунка» профиля (например, наличие резких скачков значений, сглаживание перехода

ранней - поздней древесины на резистограммах, аномальные (не кольцевые) изменения плотностей для томограмм).

Данные, полученные в ходе проведения инструментальных измерений, статистически обрабатывались методом агломеративной иерархической кластеризации. С учетом характера выборок в качестве расстояния между объектами было принято Евклидово расстояние (формула 1):

$$\rho(x, x') = \sqrt{\sum_i^n (x_i - x'_i)^2}, \quad (1)$$

где  $i$  - признаки;  $n$  - количество признаков

Объединение кластеров производилось по алгоритму полной связи (методу дальнего соседа), в соответствии с которым степень близости оценивается по степени близости между наиболее отдаленными объектами кластеров. Для нормализации данных значения средней скорости импульса были переведены в м/мин.



### 3. Таксационная характеристика объекта исследования

Общая характеристика заложенных пробных площадей приведена в таблице 3.1 [53]. Таксационные схемы заложенных пробных площадей приведены на рисунках 3.1-3.8.

Таблица 3.1 – Параметры пробных площадей

№ п/п	Место расположения (ориентировочный адрес)	Площадь, га	Видовой состав
1	г. Братск, ж.р. Энергетик, ул. Макаренко, 40	0,5	9С1Б+Л
2	г. Братск, ж.р. Энергетик, ул. Солнечная, 2	0,1	10С+Ос+Б
3	г. Братск, ж.р. Энергетик, ул. Погодаева, 14	1,9	10С
4	г. Братск, ж.р. Центральный, ул. Муханова, 32	3,9	8С1Л1Б+Ос
5	г. Братск, ж.р. Центральный, ул. Дружбы, 45	1,0	6С2Л1Ос1Б
6	г. Братск, ж.р. Центральный, бульвар Победы, 34	1,25	4Л4Ос1С1Б
7	г. Братск, ж.р. Центральный, ул. Гагарина, 117	3,1	4С2Л2Б2Ос
8	Братский район, по направлению трассы Братск-Усть-Илимск	1,4	6СЗБ1Л

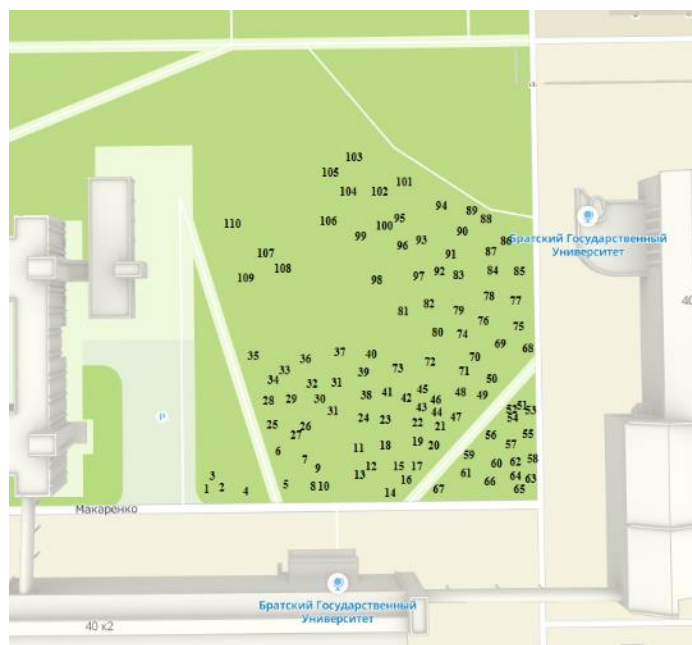


Рисунок 3.1 – Схема расположения деревьев на площади №1 и фотография площади

Пробная площадь №1 была заложена в парковой зоне на территории университетского комплекса. Данный участок расположен вне зоны влияния основных промышленных предприятий города, однако находится по направлению факела выбросов котельной на твердом топливе с учетом направления господствующих ветров. Территория покрыта густой сетью тропинок. Среди травянистой растительности высока доля злаков и сорных растений.

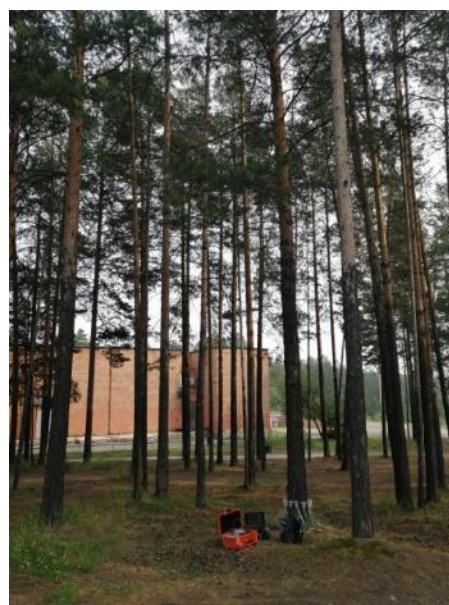


Рисунок 3.2 – Схема расположения деревьев на площади №2 и фотография площади

Пробная площадь №2 была заложена на окраине городской парковой зоны жилого района Энергетик. Данный участок расположен вне зоны влияния крупных источников выбросов. Территория покрыта густой сетью тропинок. Напочвенный покров практически отсутствует.

Пробная площадь №3 была заложена в парковой зоне в центре жилого микрорайона района Энергетик. Данный участок расположен вне зоны влияния основных промышленных предприятий города, однако находится по направлению факела выбросов котельной на твердом топливе с учетом направления господствующих ветров. Большая часть территории пробной площади

подвергнута вытаптыванию, напочвенный растительный покров практически отсутствует.



Рисунок 3.3 – Схема расположения деревьев на площадке №3 и фотография площадки



Рисунок 3.4 – Схема расположения деревьев на площадке №4 и фотография площадки

Пробная площадь №4 является частью пригородного лесного массива, примыкающей к жилому микрорайону. Территория расположена вне преобладающих направлений факелов основных промышленных предприятий. В

зоне влияния крупных источников выбросов. На пробной площади фиксируется наличие отдельных устойчивых тропинок, основная доля напочвенного растительного покрова слабо нарушена или не нарушена. Увеличена доля сорных растений.



Рисунок 3.5 – Схема расположения деревьев на площади №5 и фотография площади

Пробная площадь №5 является частью пригородного лесного массива, примыкающей к жилому микрорайону. Территория расположена по направлению преобладающих факелов основных промышленных предприятий. На пробной площади фиксируется наличие отдельных устойчивых тропинок, основная доля напочвенного растительного покрова слабо нарушена или не нарушена. Увеличена доля сорных растений.

Пробная площадь №6 является частью пригородного лесного массива, примыкающей к жилому микрорайону. Территория расположена по направлению преобладающих факелов основных промышленных предприятий. На пробной площади фиксируется наличие отдельных устойчивых тропинок, основная доля напочвенного растительного покрова слабо нарушена или не нарушена. Увеличена доля сорных растений.

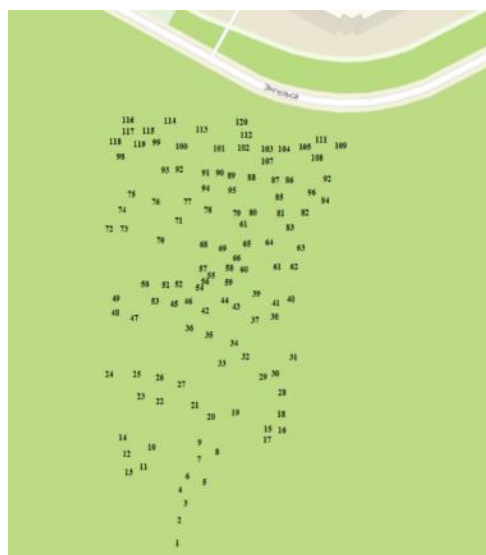


Рисунок 3.6 – Схема расположения деревьев на площадке №6 и фотография  
площади

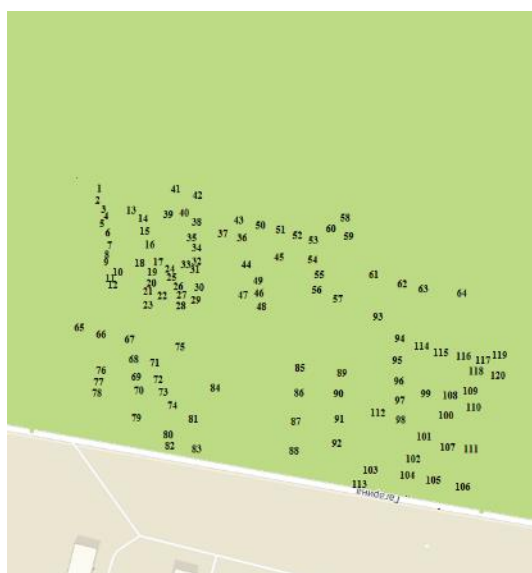


Рисунок 3.7 – Схема расположения деревьев на площадке №7 и фотография  
площади

Пробная площадь №7 является частью пригородного лесного массива, примыкающей к жилому микрорайону. Территория расположена вне преобладающих направлений факелов основных промышленных предприятий, однако относится к зоне влияния крупных источников выбросов. На пробной площади фиксируется наличие отдельных устойчивых тропинок, основная доля

напочвенного растительного покрова слабо нарушена или не нарушена. Увеличена доля сорных растений.

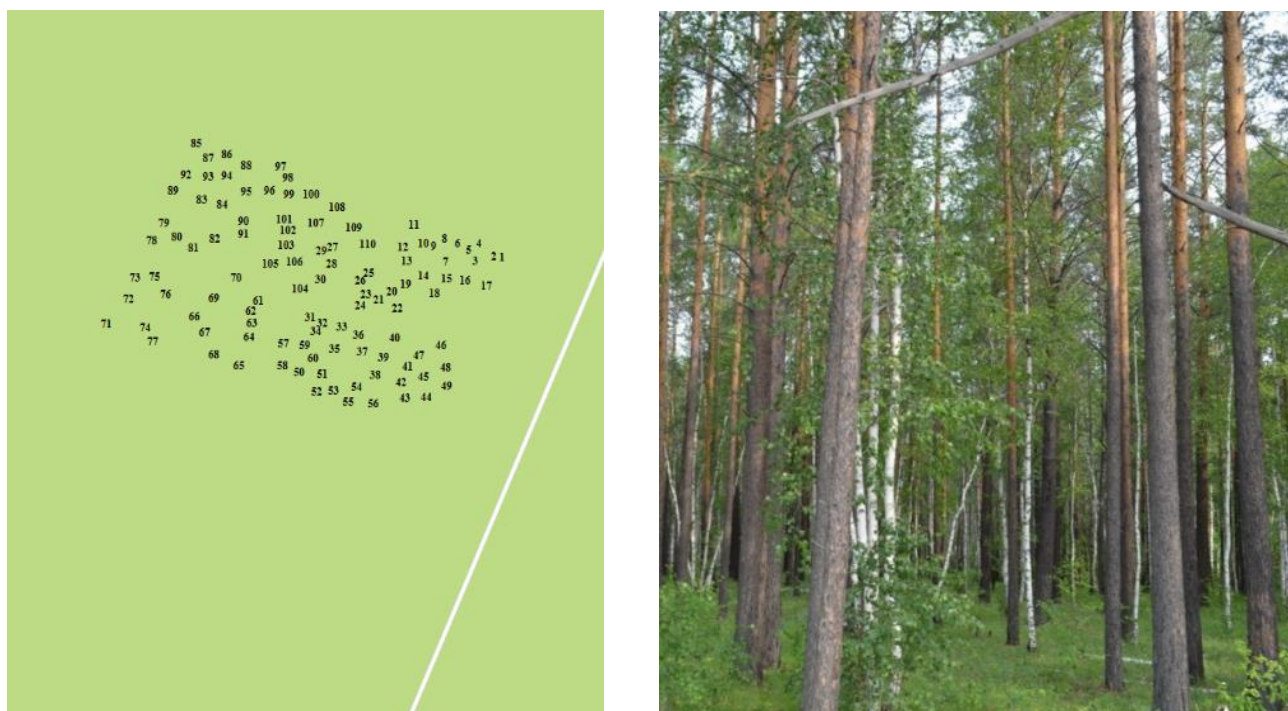


Рисунок 3.8 – Схема расположения деревьев на площади №8 и фотография площади

Пробная площадь №8 является фоновой (контрольной) точкой относительно объекта исследования. Территория пробной площади была заложена в естественном лесном массиве Братского района вне зоны влияния промышленной и бытовой деятельности. На пробной площади отсутствуют следы антропогенной нагрузки (тропинки, следы стоянок и другое). Напочвенный растительный покров не поврежден.

Обобщенные и усредненные показатели данных по сосне обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для каждой площади приведены в таблице 3.2.

На основе полученных данных были составлены графики распределения высот по ступеням толщины приведены на рисунках 3.9-3.16.

Таблица 3.2 – Биометрические показатели *Pinus sylvestris* L.

№ пробной площади	Средний диаметр на высоте груди, см	Средняя высота дерева, м	Средняя высота начала кроны, м	Состояние корней, % от выборки
1	30,21±0,6	19,2±0,4	7,2±0,14	Не оголены - 100
2	26,24±0,5	13,4±0,3	7,0±0,14	Не оголены - 100
3	21,60±0,4	11,1±0,2	5,3±0,1	Оголены – 15 Нет – 85
4	38,62±0,8	21,0±0,5	12,3±0,25	Оголены – 3 Не оголены – 97
5	15,91±0,3	13,8±0,3	2,5±0,05	Оголены – 1 Не оголены – 99
6	21,52±0,4	19,0±0,4	3,5±0,07	Не оголены - 100
7	19,33±0,4	14,7±0,3	1,9±0,04	Оголены – 2 Не оголены – 98
8	33,0±0,7	24,5±0,5	17,5±0,35	Не оголены - 100

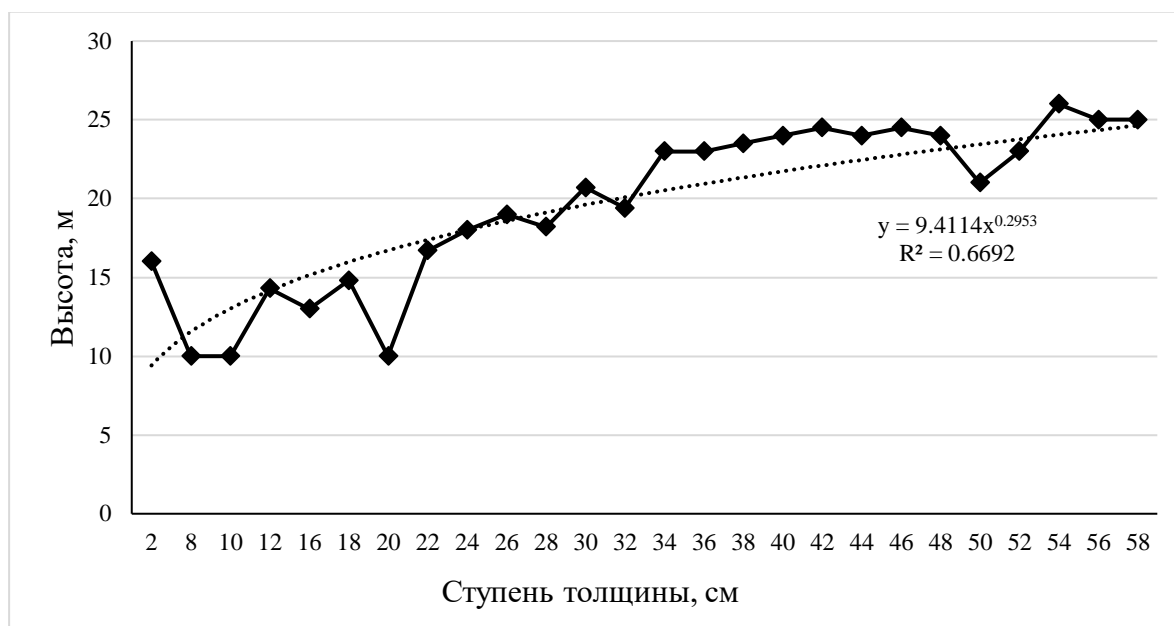


Рисунок 3.9 – Распределение высот по ступеням толщины для площади №1

Как видно из рисунка 3.9, на пробной площади №1 большой разброс деревьев по диаметру и высоте. Максимальная высота наиболее крупных деревьев

54-58 см составляет 20-25 метров. Коэффициент корреляции между высотой и диаметром довольно высокий и составляет 0,669.

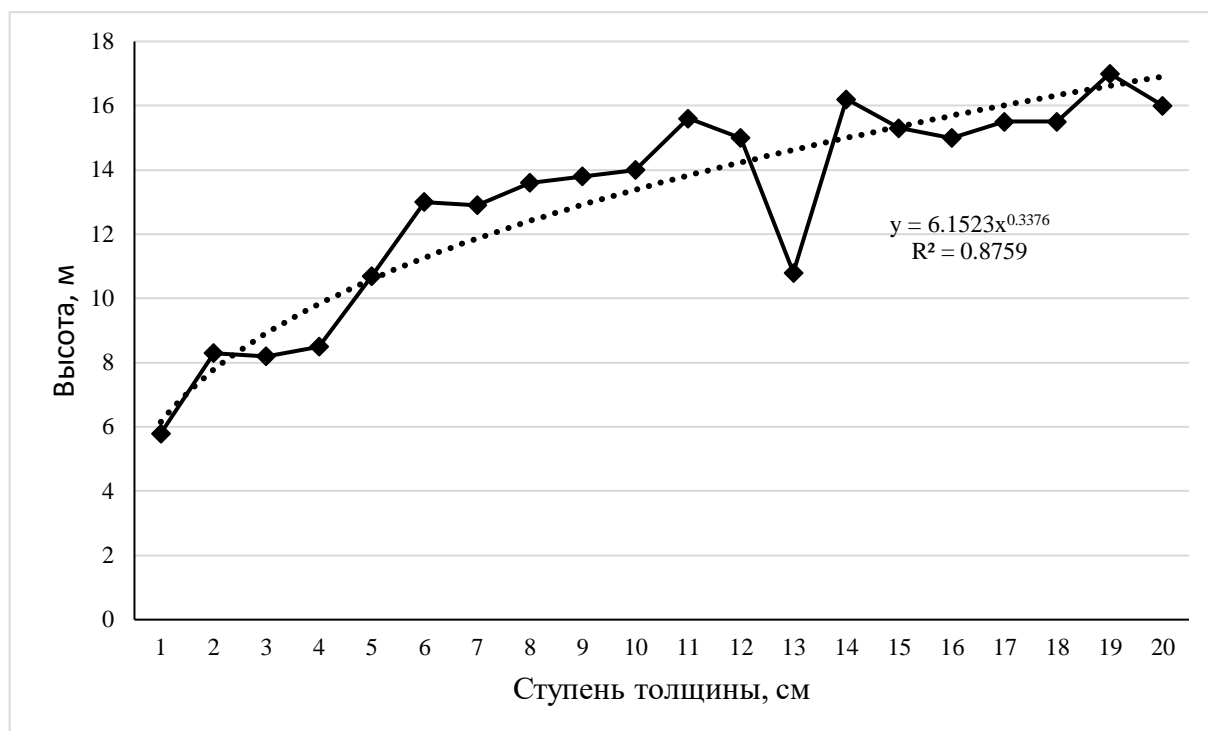


Рисунок 3.10 – Распределение высот по ступеням толщины для площади №2

На пробной площадке №2 максимальный диаметр не превышает 20 см, при высоте 16 метров. Взаимосвязь между высотой и диаметром составляет  $R^2=0,875$ .

На пробной площадке №3 (рисунок 3.11) при максимальном диаметре 54 см высота достигает всего 13-14 метров при высоком уровне корреляции между этими двумя показателями. Коэффициент аппроксимации  $R^2= 0,895$ . Деревья развиваются по 4-5 классу бонитета.

На пробной площадке №4 (рисунок 3.12) корреляция между высотой и диаметром меньше, чем на предыдущих пробных площадях ( $R^2=0,538$ ). При максимальном диаметре 56 см высота достигает 27 метров.

Пробная площадь №5 (рисунок 3.13) характеризуется сравнительно небольшим диаметром до 22 см и высотой до 16-16,5 метров. Взаимосвязь данных показателей высокая  $R^2= 0,860$ .



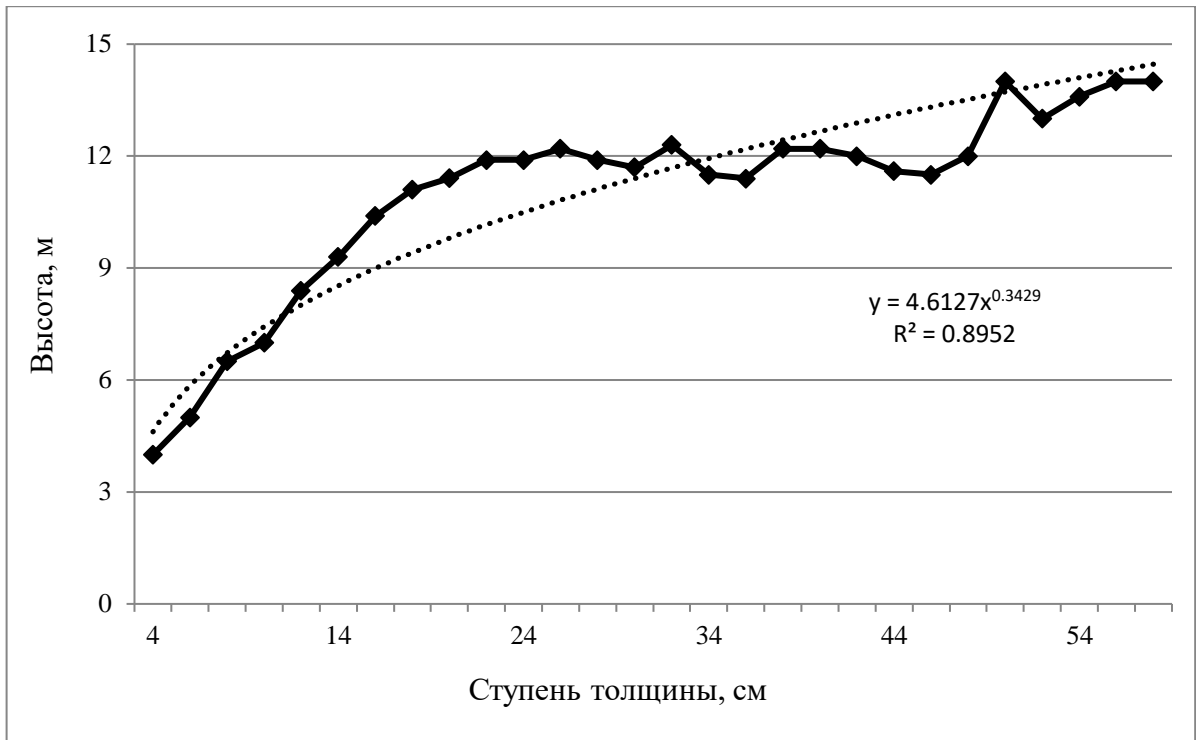


Рисунок 3.11 – Распределение высот по ступеням толщины для площади №3

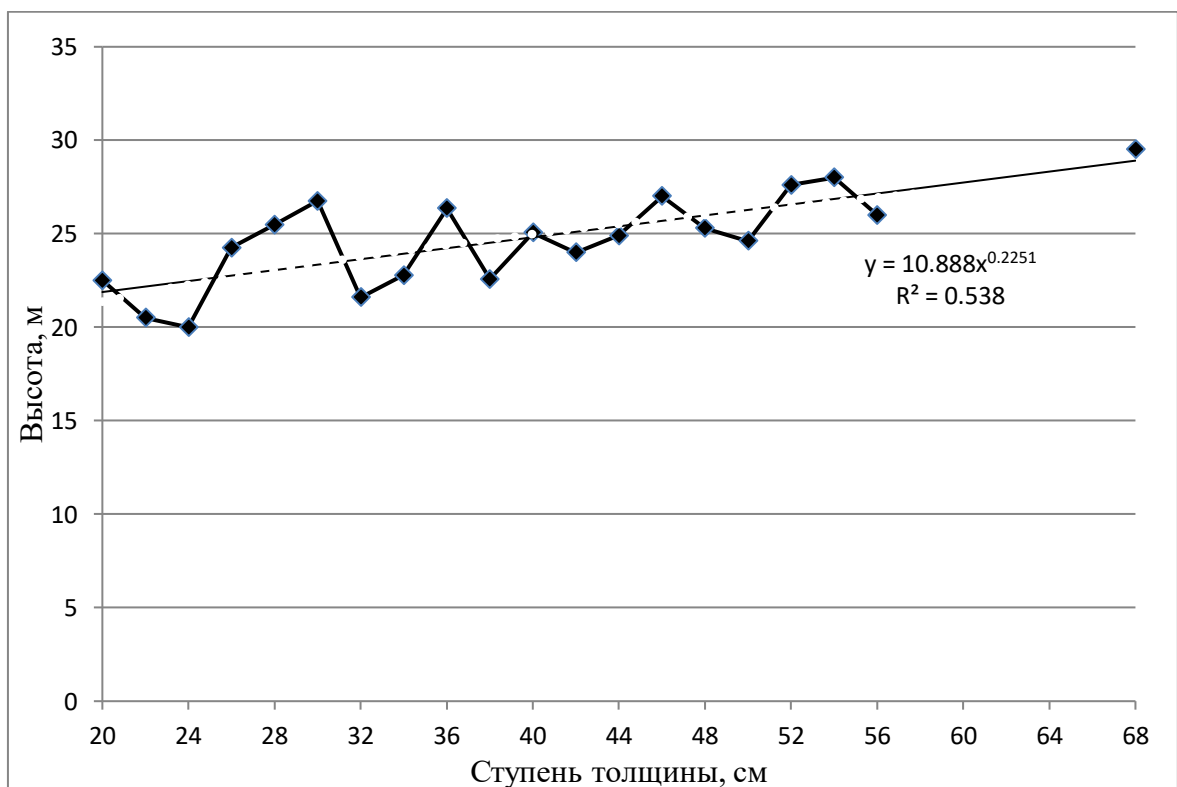


Рисунок 3.12 – Распределение высот по ступеням толщины для площади №4

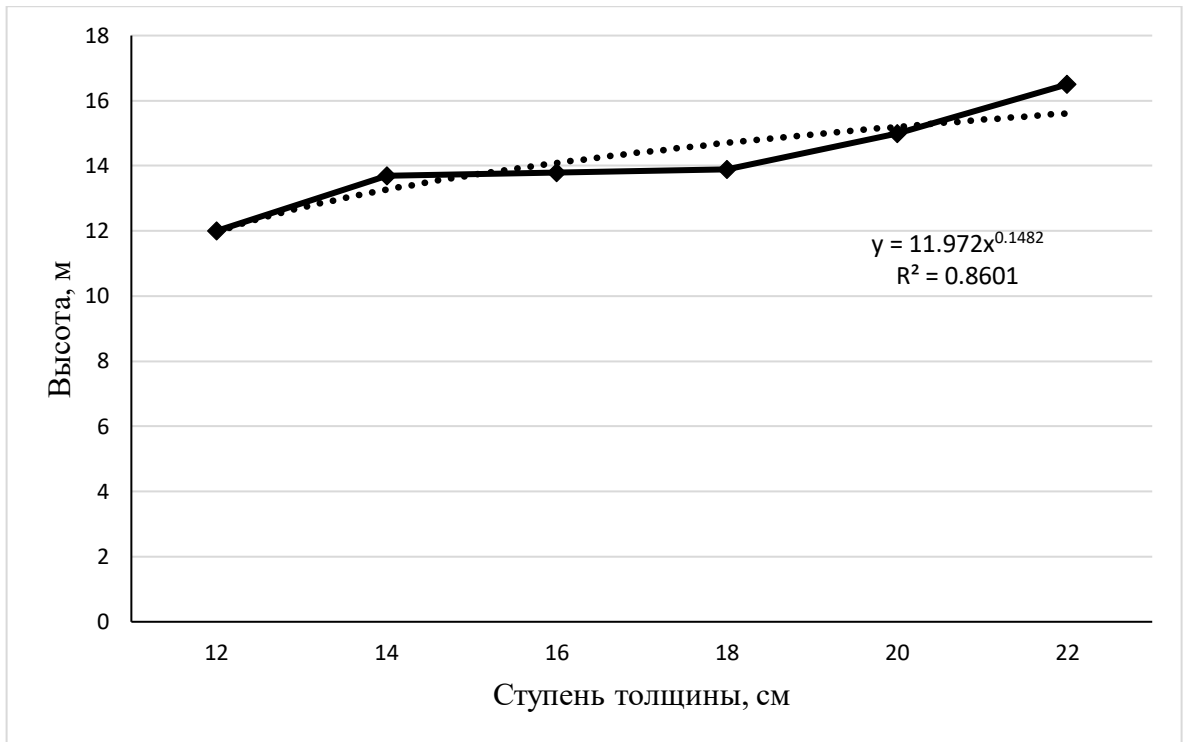


Рисунок 3.13 – Распределение высот по ступеням толщины для площади №5

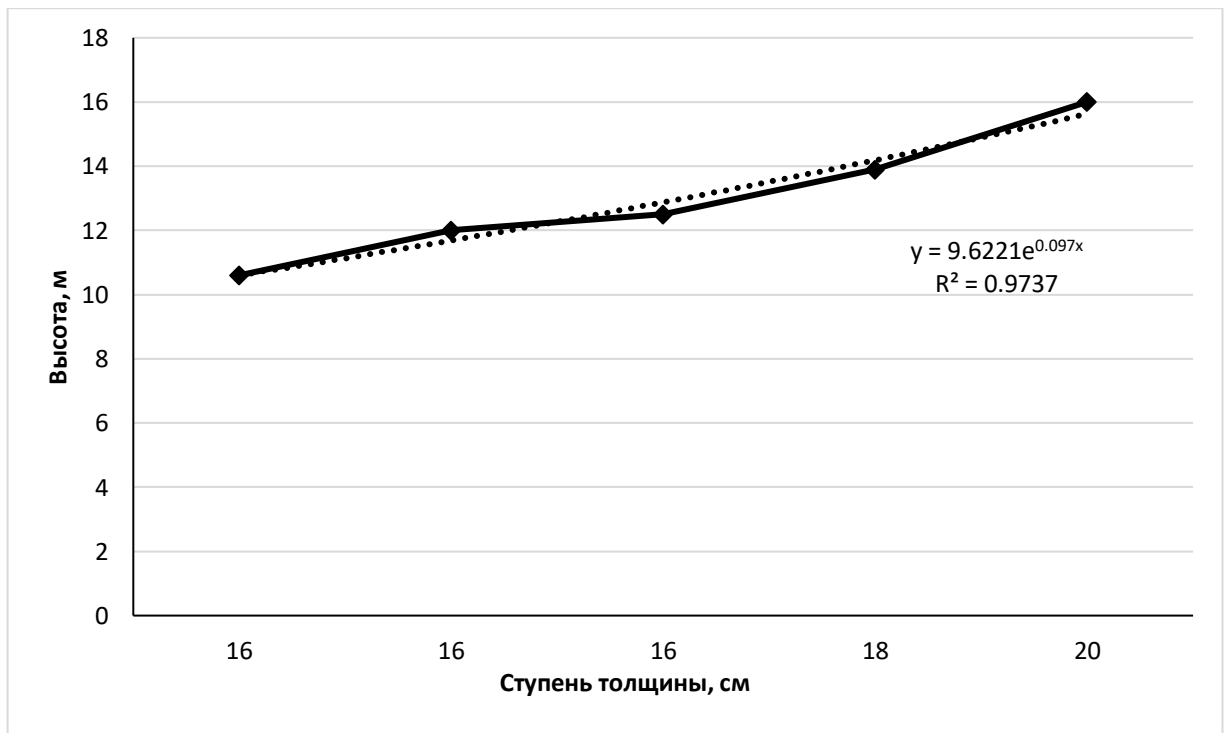


Рисунок 14 – Распределение высот по ступеням толщины для площади №6

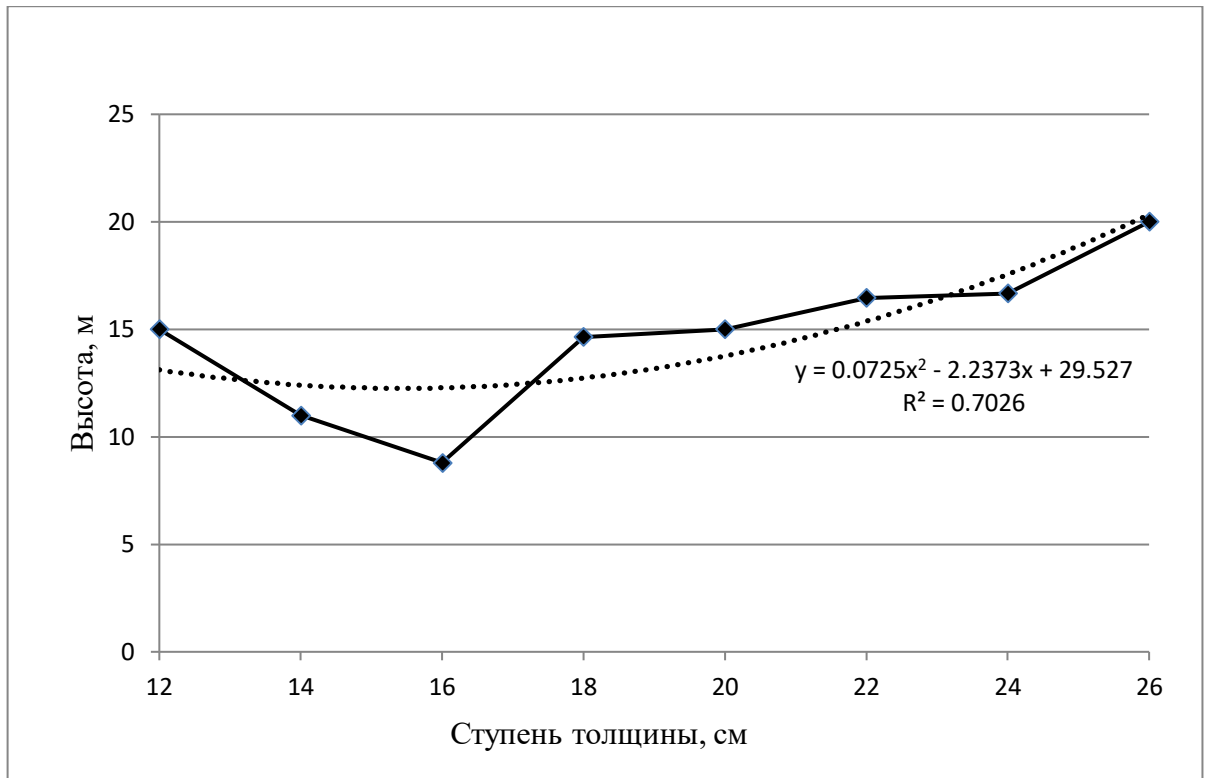


Рисунок 3.15 – Распределение высот по ступеням толщины для площади №7

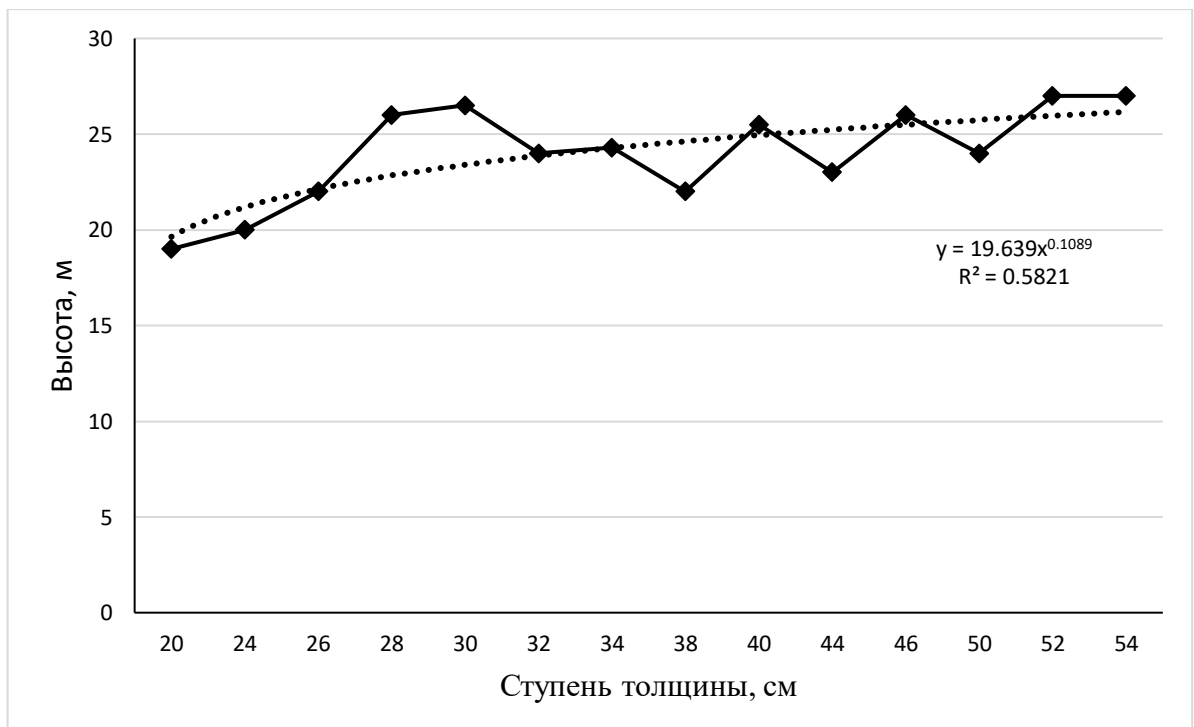


Рисунок 3.16 – Распределение высот по ступеням толщины для площади №8

Пробная площадь №6 (рисунок 3.14) характеризуется сравнительно небольшим диаметром до 20 см и высотой до 16 метров. Взаимосвязь данных показателей высокая  $R^2=0,973$ .

На пробной площади №7 (рисунок 3.15) представлена взаимосвязь между высотой и диаметром сосновых древостоев. Взаимосвязь данных показателей высокая  $R^2=0,702$ .

На фоновой пробной площади изменение высоты с диаметром незначительное, высоты деревьев колеблются от 18 до 27 метров при изменениях диаметров от 20 до 54 см. при этом коэффициент аппроксимации составляет  $R^2=0,702$ .

На основании изучения зависимостей между высотой сосны и диаметром на пробных площадях можно сделать выводы, что графики высот характерны для сообщества деревьев, хотя в некоторых случаях взаимосвязь между этими основными таксационными показателями недостаточно высокая. Таким образом, на пробных площадях возникли дендроценозы с характерными для насаждений зависимостями. Небольшое отклонение от естественного распределения наблюдается на рисунке 3.15, отражающем параметры пробной площади № 7, что может быть связано с активным развитием подроста на данной территории.

Был произведен анализ состояния кроны сосны обыкновенной на исследуемых площадях (рисунки 3.17-3.25), а также анализ встречаемости внешних повреждений стволов (таблицы 3.3).

Исходя из данных, приведенных на рисунке 3.17, можно отметить заметное увеличение доли деревьев с частичным усыханием кроны на пробных площадях № 1 (66% выборки), №2 (92%), №3 (66%) и №5 (58%). Это означает снижение санитарных характеристик насаждения и может свидетельствовать о его угнетении.

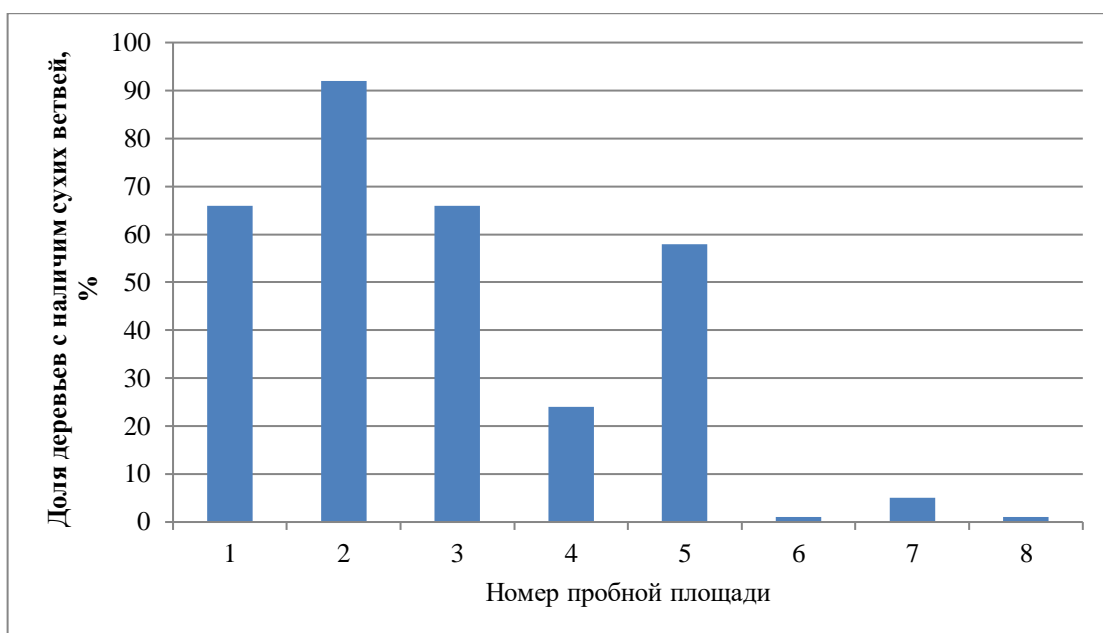


Рисунок 3.17 – Доля деревьев сосны обыкновенной, имеющих частично усыхание кроны

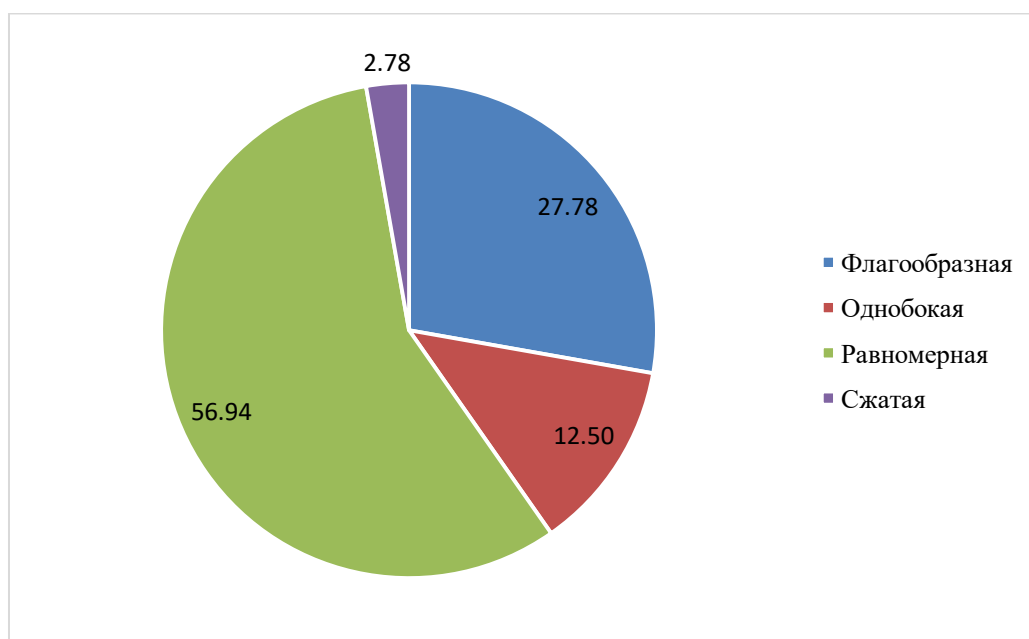


Рисунок 3.18 – Распределение форм кроны для деревьев пробной площади №1

Среди форм кроны на пробной площади №1 преобладает равномерная крона (56,94%). Значительную долю выборки также представляют флагообразная (27,78%) и однобокая (12,50%) кроны.

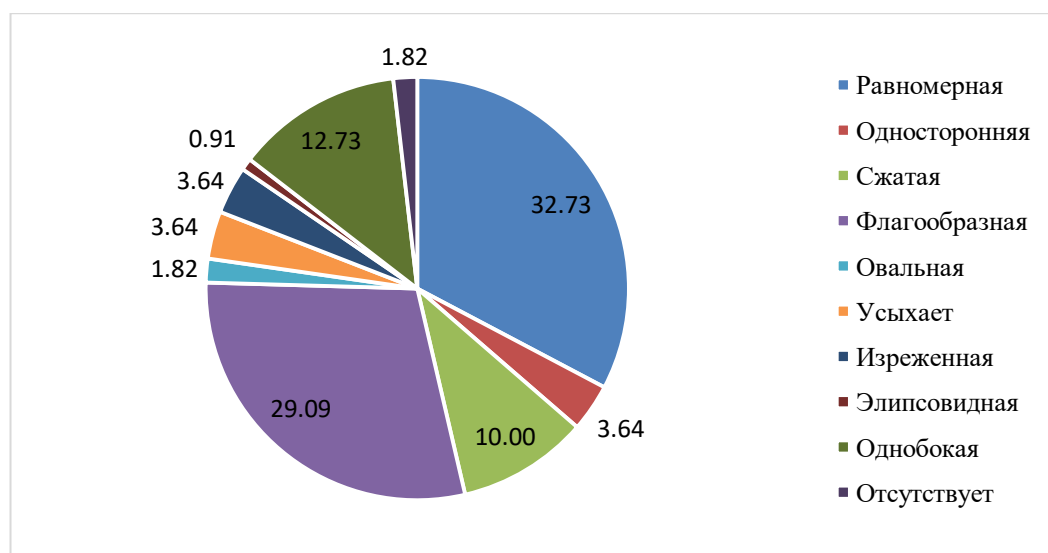


Рисунок 3.19 – Распределение форм кроны для деревьев пробной площади №2

На пробной площади №2 преобладает равномерная крона (32,73%). Значительную долю выборки представляют флагообразная (29,09%), однобокая (12,73%) и сжатая (10,00%) кроны. Высокая доля экземпляров со сжатой кроной обусловлена большой густотой насаждения.

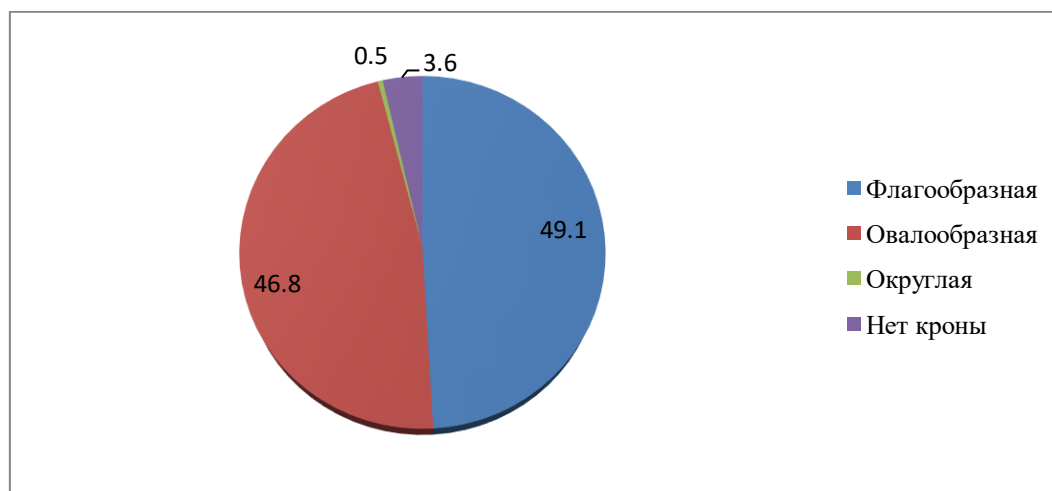


Рисунок 3.20 – Распределение форм кроны для деревьев пробной площади №3

На пробной площади №3 практически в равных долях представлены овалообразная (46,8%) и флагообразная (49,1%) кроны.

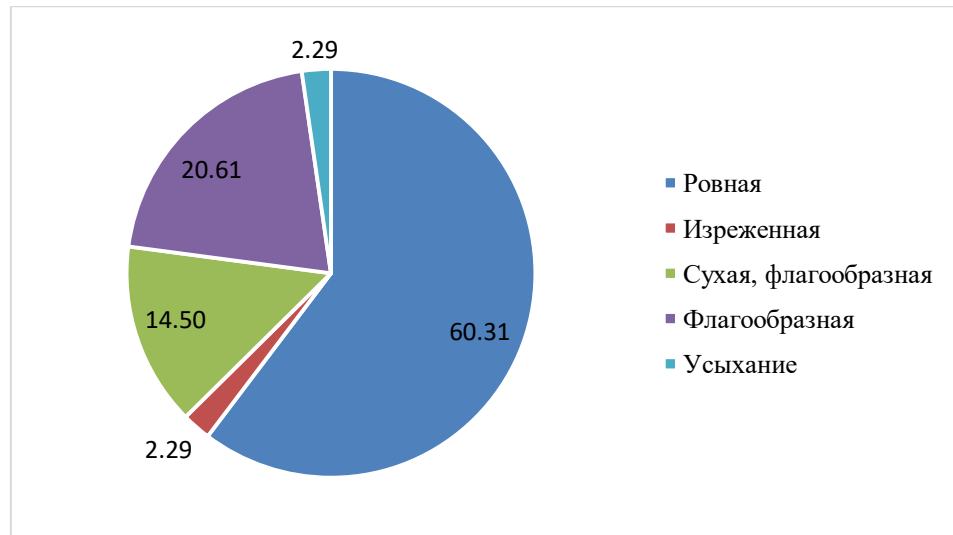


Рисунок 3.21 – Распределение форм кроны для деревьев пробной площади №4

На пробной площади №4 преобладает равномерная крона (60,31%). Значительную долю выборки представляет флагообразная (35,11%) крона, 14,5% которой является суховершинной.

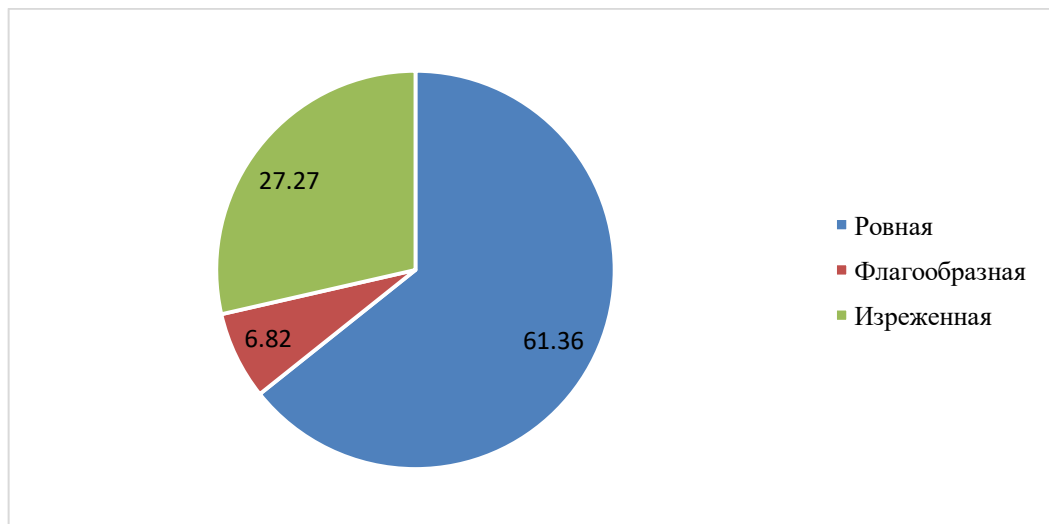


Рисунок 3.22 – Распределение форм кроны для деревьев пробной площади №5

На пробной площади №5 преобладает равномерная крона (61,36%). Значительную долю выборки представляет изреженная (27,27%) крона.

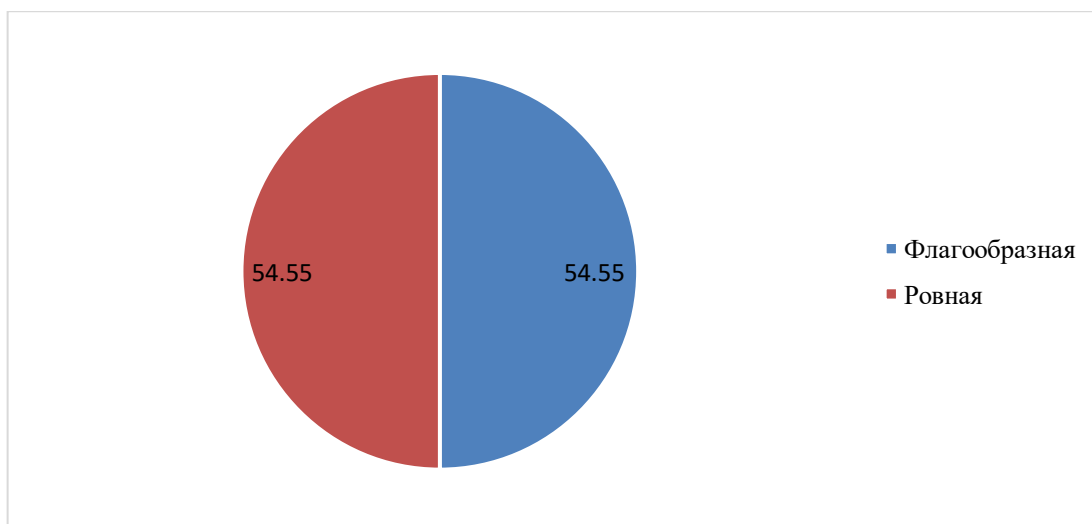


Рисунок 3.23 – Распределение форм кроны для деревьев пробной площади №6

На пробной площади №6 в равных долях представлены флагообразная (54,55%) и равномерная (54,55%) кроны.

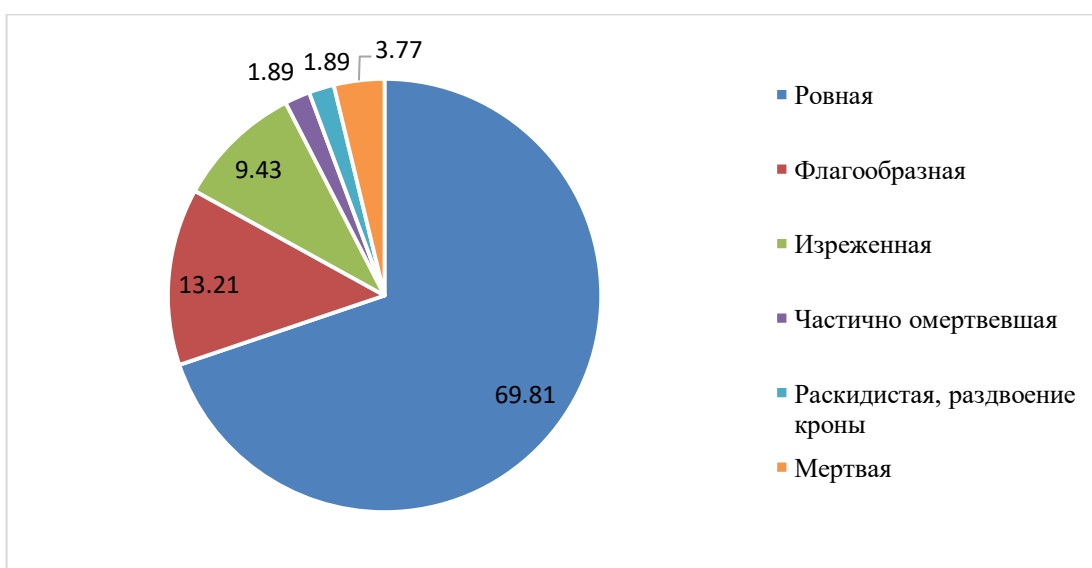


Рисунок 3.24 – Распределение форм кроны для деревьев пробной площади №7

На пробной площади №7 преобладает равномерная крона (69,81%). Значительную долю выборки представляют флагообразная (13,21%) и изреженная (9,43%) кроны.



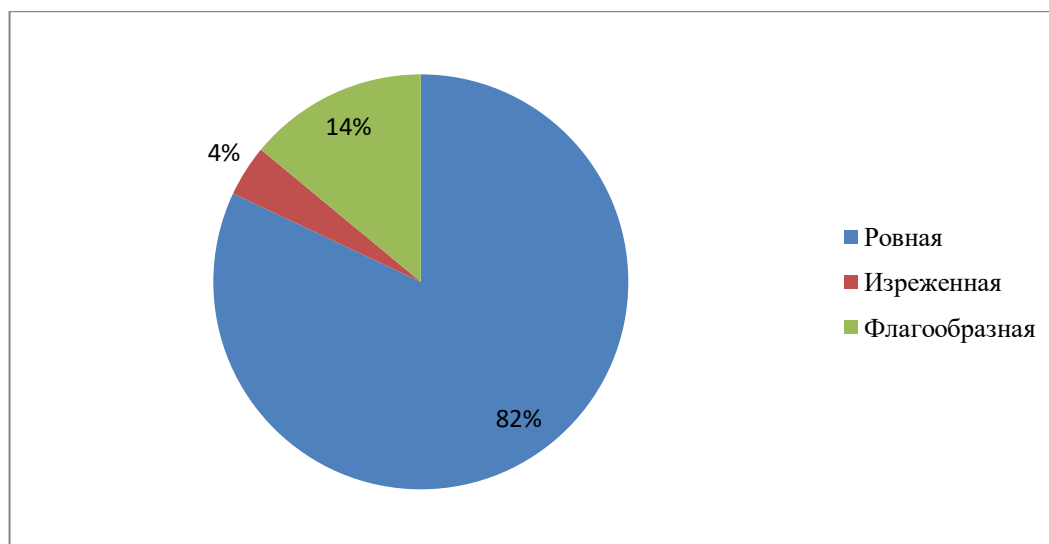


Рисунок 3.25 – Распределение форм кроны для деревьев пробной площади №8

На пробной площади №8 преобладает равномерная крона (82%). Значительную долю выборки представляет флагообразная (14%) крона.

Таким образом, 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.

На основании данных перечета на пробных площадях был произведен анализ встречаемости внешних повреждений стволов. Результаты приведены в таблице 3.3 и на рисунках 3.18-3.25.

Таблица 3.3 – Встречаемость пороков стволочной древесины по числу разновидностей

№ площади	Количество разновидностей пороков ствола	Доля в выборке, %
1	Пороки отсутствуют	5
	1 вид пороков	14
	2 и более вида пороков	81
2	Пороки отсутствуют	1
	1 вид пороков	26
	2 и более вида пороков	73
3	Пороки отсутствуют	4
	1 вид пороков	30
	2 и более вида пороков	66

№ площади	Количество разновидностей пороков ствола	Доля в выборке, %
4	Пороки отсутствуют	54
	1 вид пороков	35
	2 и более вида пороков	11
5	Пороки отсутствуют	80
	1 вид пороков	20
6	Пороки отсутствуют	50
	1 вид пороков	42
	2 и более вида пороков	8
7	Пороки отсутствуют	60
	1 вид пороков	28
	2 и более вида пороков	12
Фон	Пороки отсутствуют	95
	1 вид пороков	5

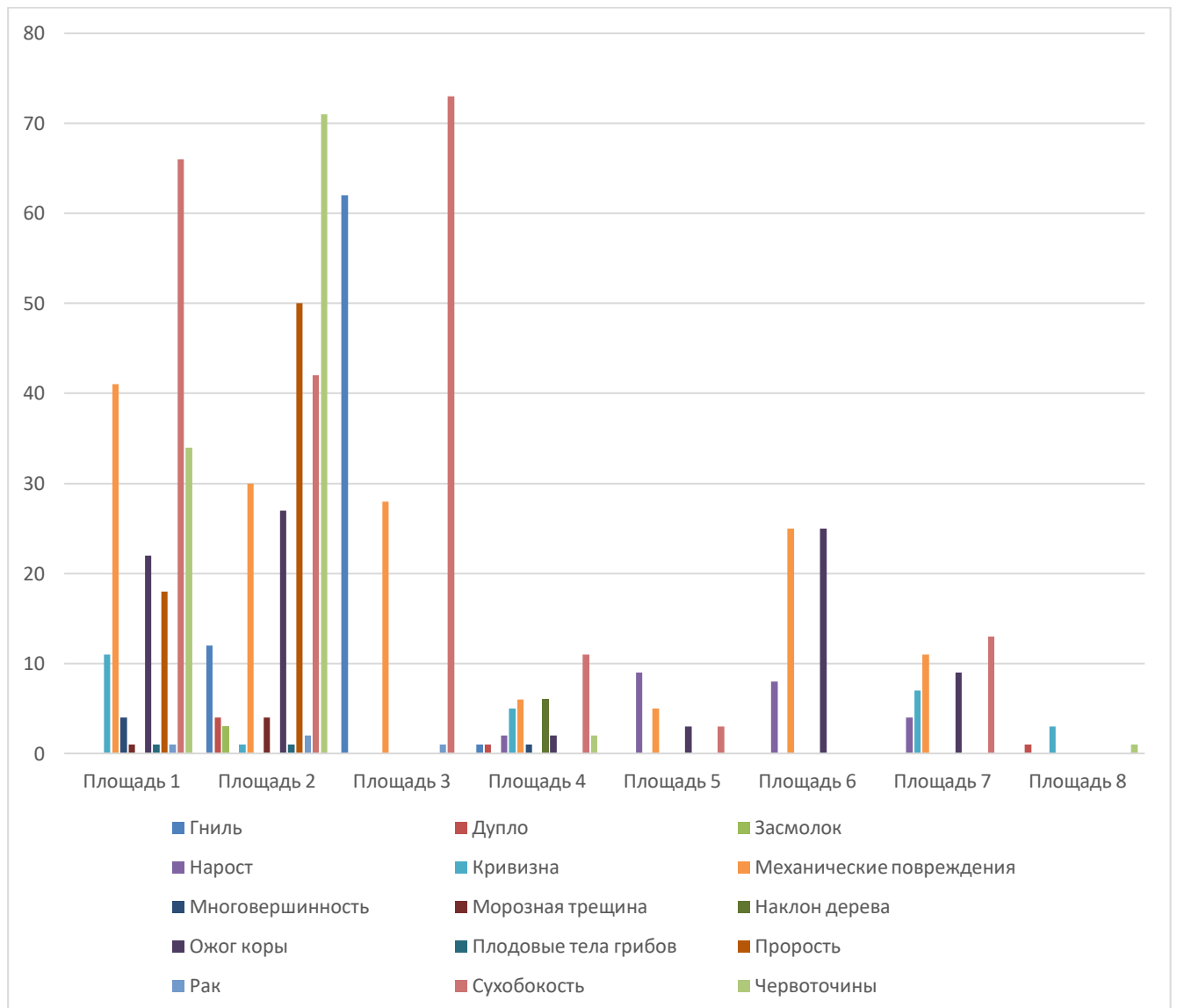


Рисунок 3.26 - Встречаемость пороков стволовой древесины по пробным площадям

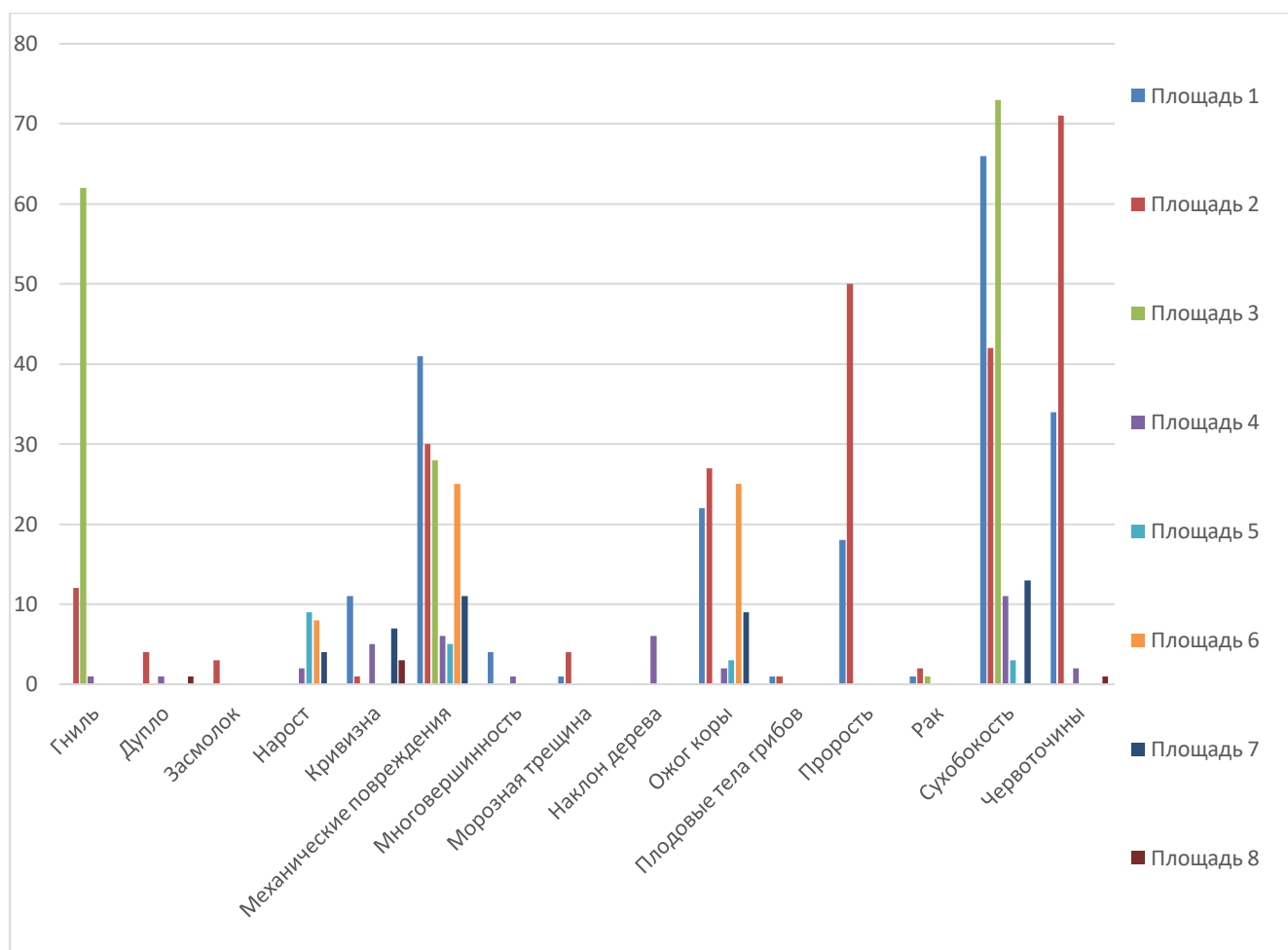


Рисунок 3.27 - Встречаемость пороков ствольной древесины отдельно по виду порока

При анализе наличия внешних пороков ствола исследуемых деревьев, следует обратить внимание на увеличенную встречаемость разнотипных пороков на одном стволе для площадей № 1-3 (более чем в 60% случаев). На пробных площадях № 4-7 встречаемость нескольких разнотипных пороков на одном стволе ниже (0-12% выборки), однако доля неповрежденных стволов все еще ниже (от 50 до 80% выборки), чем на фоновой площади (95% выборки).

Среди внешних пороков древесины на исследованных площадях наибольшей встречаемостью характеризуются: механические повреждения, сухобокость, червоточины и обугленность. Все упомянутые пороки имеют тесную связь с деятельностью человека.

Общая оценка состояния деревьев на пробных площадях оценивалась по классификации Крафта и классам санитарной оценки согласно Постановлению Правительства РФ от 09.12.2020 N 2047 «Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах». Результаты обобщены на рисунках 3.28 и 3.29.

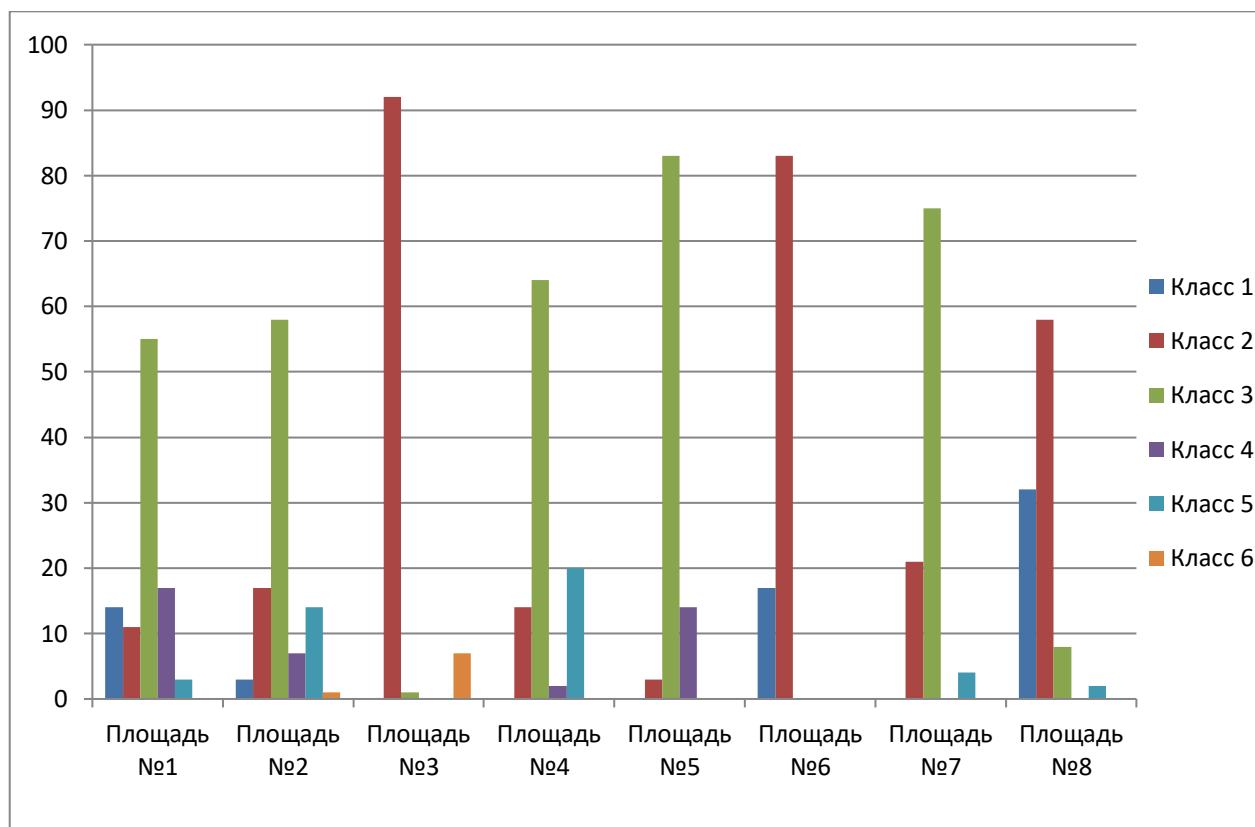


Рисунок 3.28 – Распределение пробных площадей по классам санитарной оценки, % от выборки

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, что характеризует данные площади как более здоровые. Доля здоровых деревьев (класс санитарного состояния 1) максимальна на площади №8 (фоновая площадь), что подтверждает факт угнетенности деревьев урбоценозов.

На всех исследованных площадях кроме площадей № 6 и 8 преобладающим классом санитарного является III – деревья согосподствующие. На площадях № 6

и 8 преобладает II класс – деревья господствующие. Преобладание этих классов естественно для нормального древостоя. Однако значительная доля деревьев IV и V классов (деревья угнетенные и деревья отмирающие и мертвые) на пробных площадях № 1-5 свидетельствует о значительной угнетенности и нарушенности древостоя.

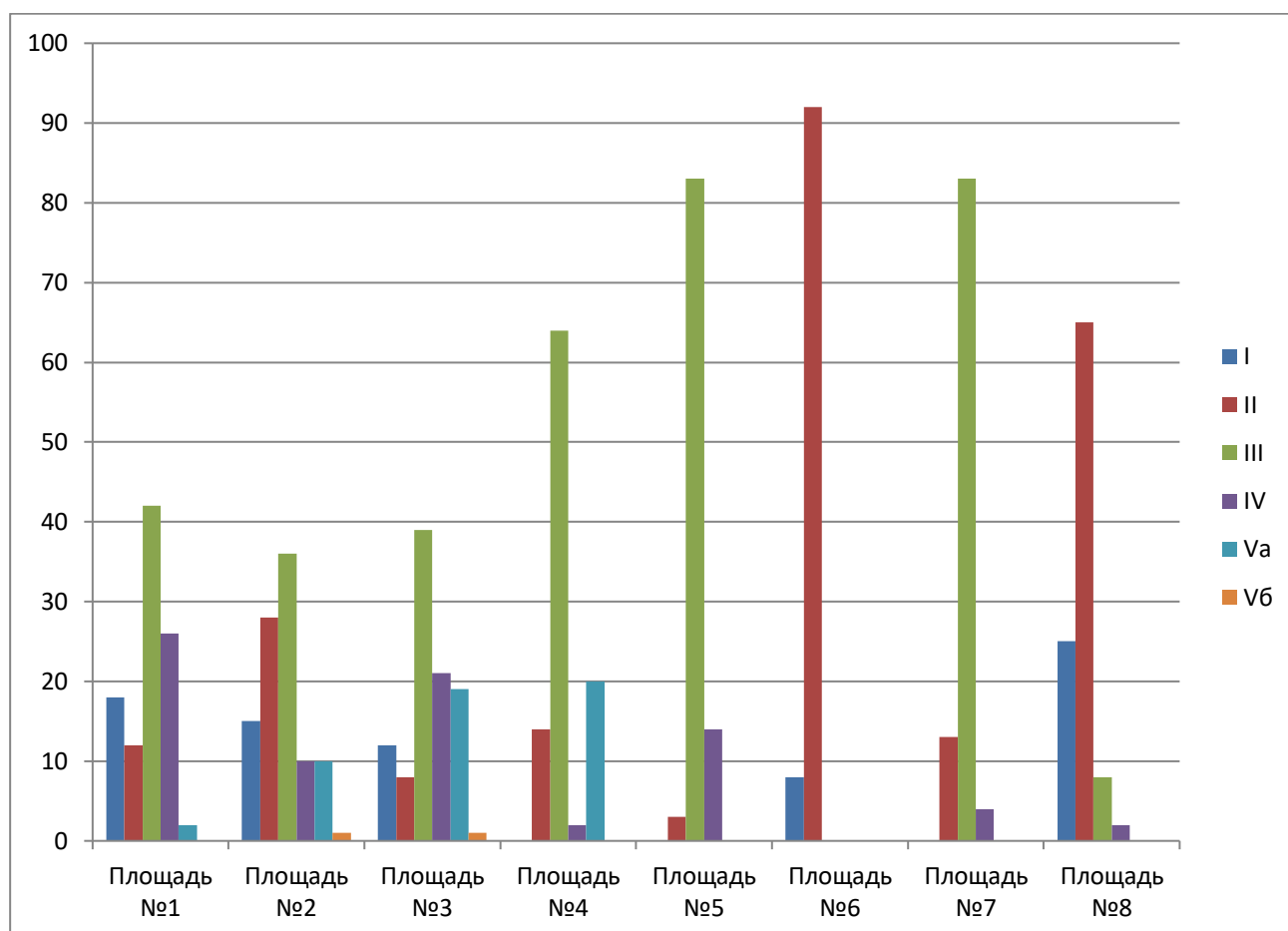


Рисунок 3.29 – Распределение пробных площадей по классам Крафта, % от выборки

Для оценки распределения морфометрических показателей исследованных древостоев было проведено определение основных статистических показателей пробных площадей и проверка на соответствие распределения выборки нормальному распределению. Результаты приведены на рисунках 3.29-3.51 и в таблицах 3.4-3.24.

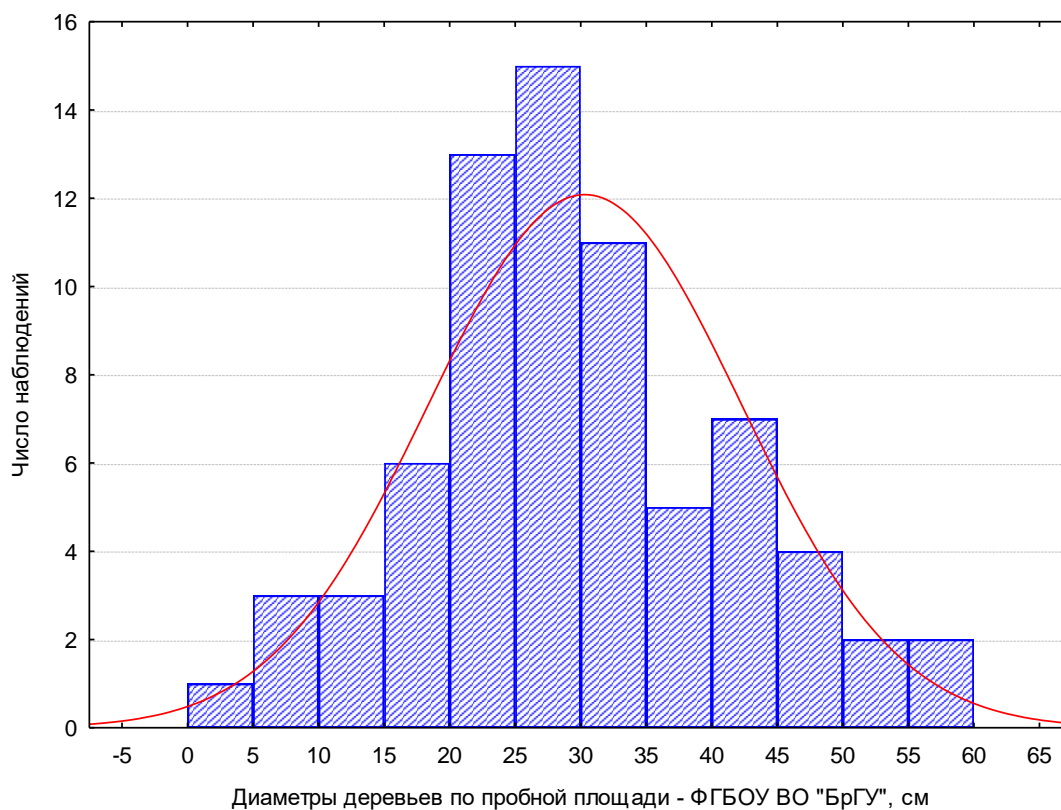


Рисунок 3.29 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения диаметров по пробной площади №1

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,13573$ ,  $p<0,15$ . Если  $D$  статистика Колмогорова-Смирнова значима ( $p<0,05$ ), то гипотеза о том, что соответствующее распределение нормально, должна быть отвергнута. В данном случае гипотеза о нормальности распределения диаметров деревьев по пробной площади принимается.

Таблица 3.4 – Основные значения описательной статистики для распределения диаметров деревьев по пробной площади №1

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Экссесс	Станд. ошибка эксцесса
32,20548	215,0544	14,66473	1,500787	0,281029	5,637446	0,555223

Значение асимметрии положительное, следовательно, наблюдается смещение распределения в сторону значений, превышающих среднее.

Наблюдается отклонение в сторону учащения встречаемости средних значений относительно нормального распределения (эксцесс положительный). На пробной площади повышена вероятность формирования стволов с увеличенным диаметром.

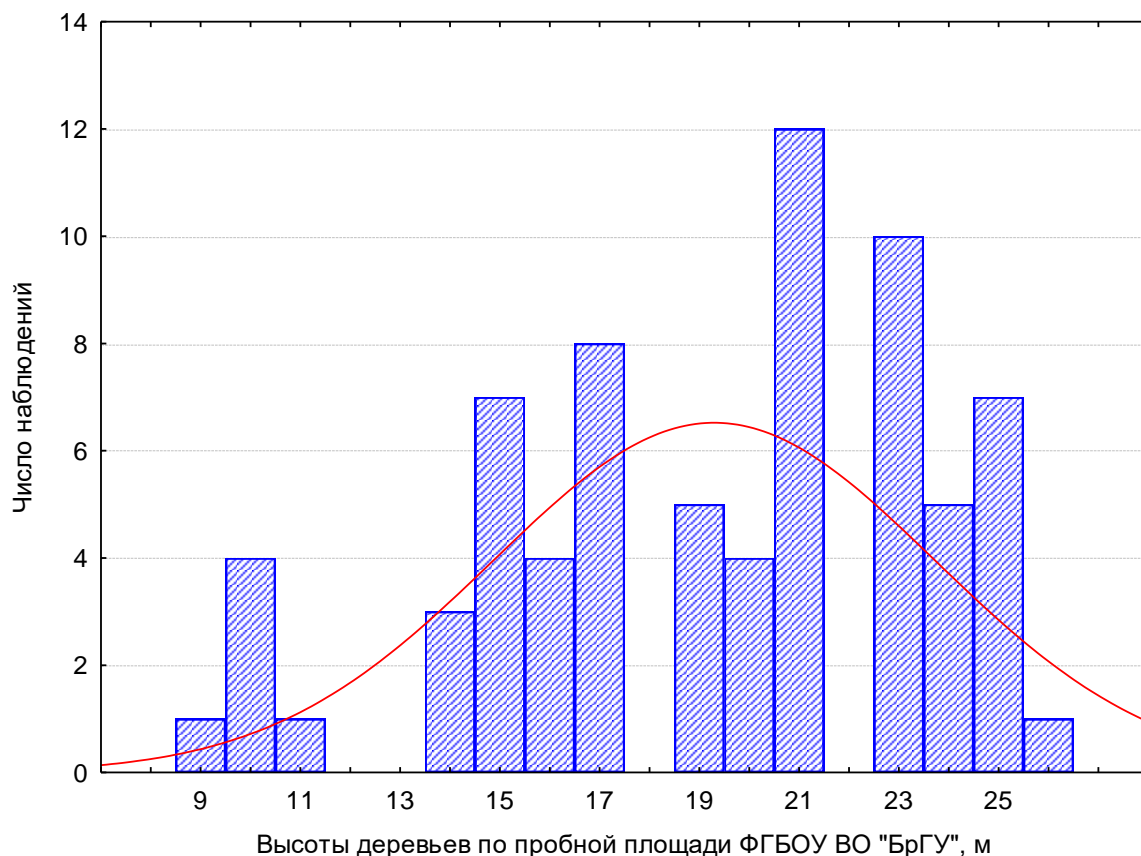


Рисунок 3.30 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения высот деревьев по пробной площади №1

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,14173$ ,  $p<0,15$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения высот деревьев по пробной площади принимается.

Значение асимметрии (таблица 3.5) отрицательное, следовательно, наблюдается смещение распределения в сторону значений ниже среднего. Наблюдается отклонение в сторону учащения встречаемости крайних значений относительно нормального распределения (эксцесс отрицательный). Повышена вероятность произрастания деревьев со значительно сниженной высотой.

Таблица 3.5 – Основные значения описательной статистики для распределения высот деревьев по пробной площади №1

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Экссесс	Станд. ошибка эксцесса
19,23611	19,39417	4,403881	-0,539265	0,282898	-0,508717	0,558831

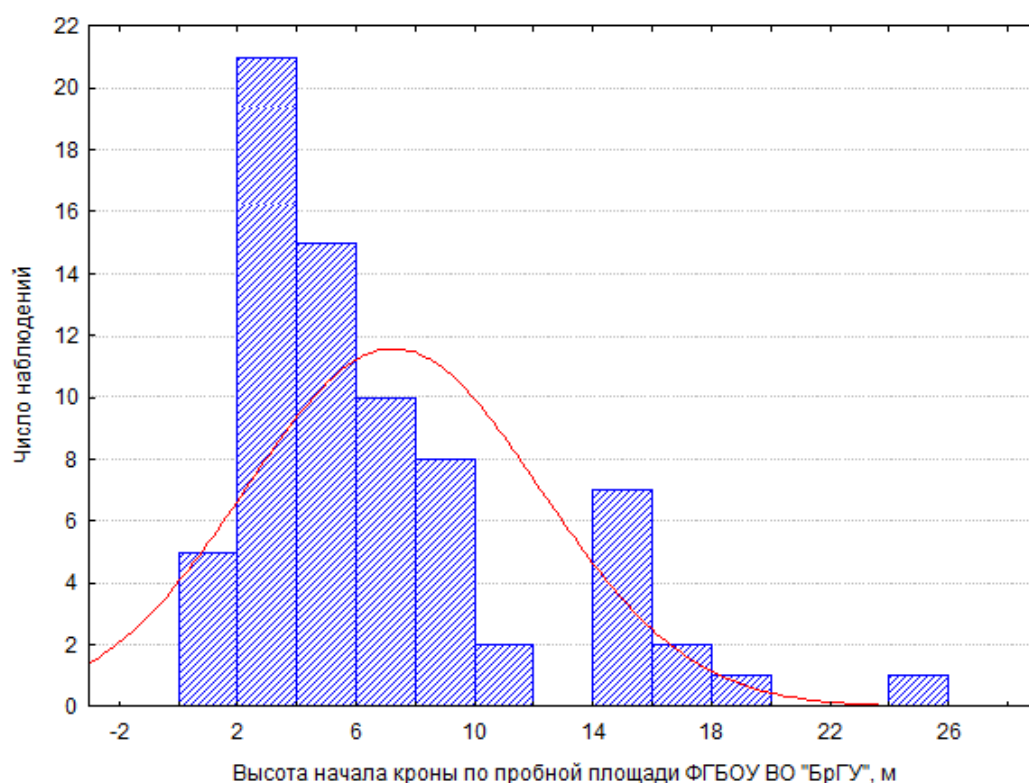


Рисунок 3.31 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади №1

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,16508$ ,  $p<0,05$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади не принимается.

Таблица 3.6 – Основные значения описательной статистики для распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади №1

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Экссесс	Станд. ошибка эксцесса
7,201389	24,63141	4,963004	1,276517	0,282898	1,424626	0,558831



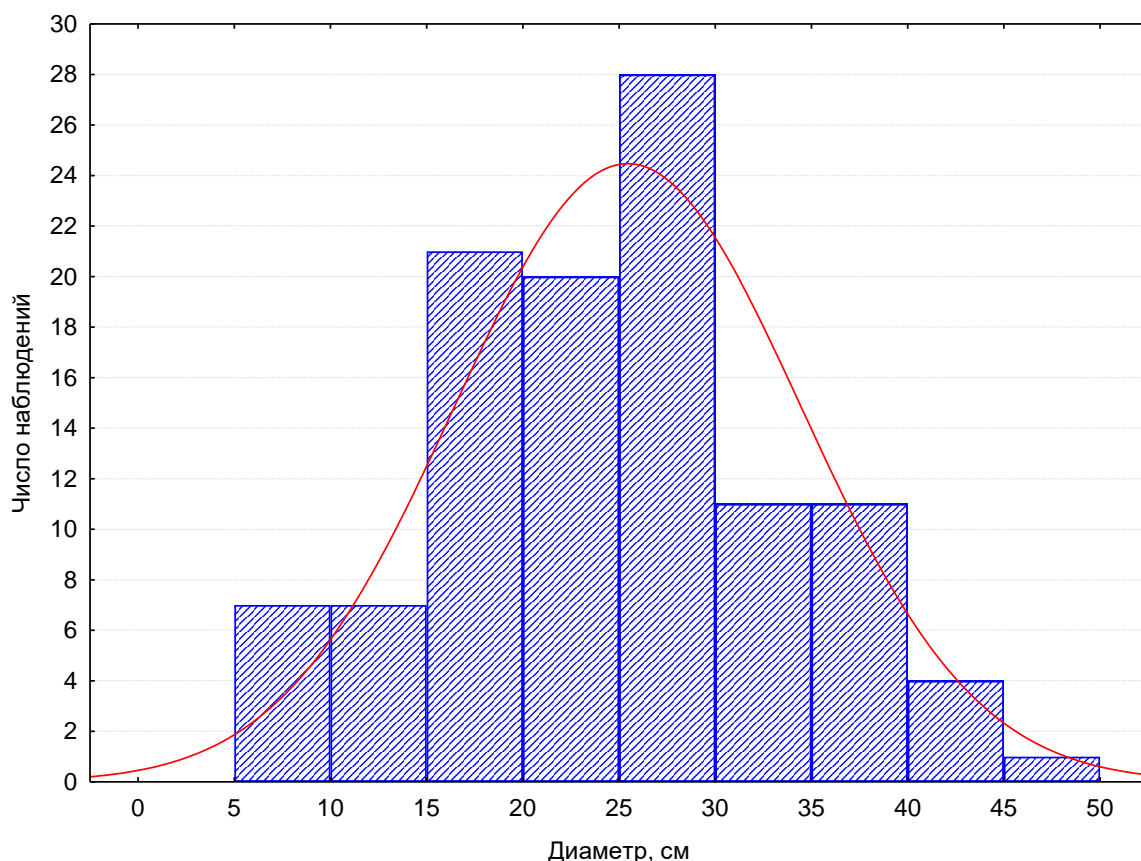


Рисунок 3.32 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения диаметров по пробной площади №2

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,0894087369$ ,  $p<0,15$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения диаметров по пробной площади принимается.

Таблица 3.7 – Основные значения описательной статистики для распределения диаметров деревьев по пробной площади №2

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
25,30909	80,399	8,966549	0,162290	0,230448	-0,459914	0,457021

Значение асимметрии положительное, следовательно, наблюдается смещение распределения в сторону значений, превышающих среднее. Наблюдается отклонение в сторону учащения встречаемости крайних значений

относительно нормального распределения (эксцесс отрицательный). На данной пробной площади повышена вероятность произрастания деревьев с увеличенным и аномально увеличенным диаметром ствола.

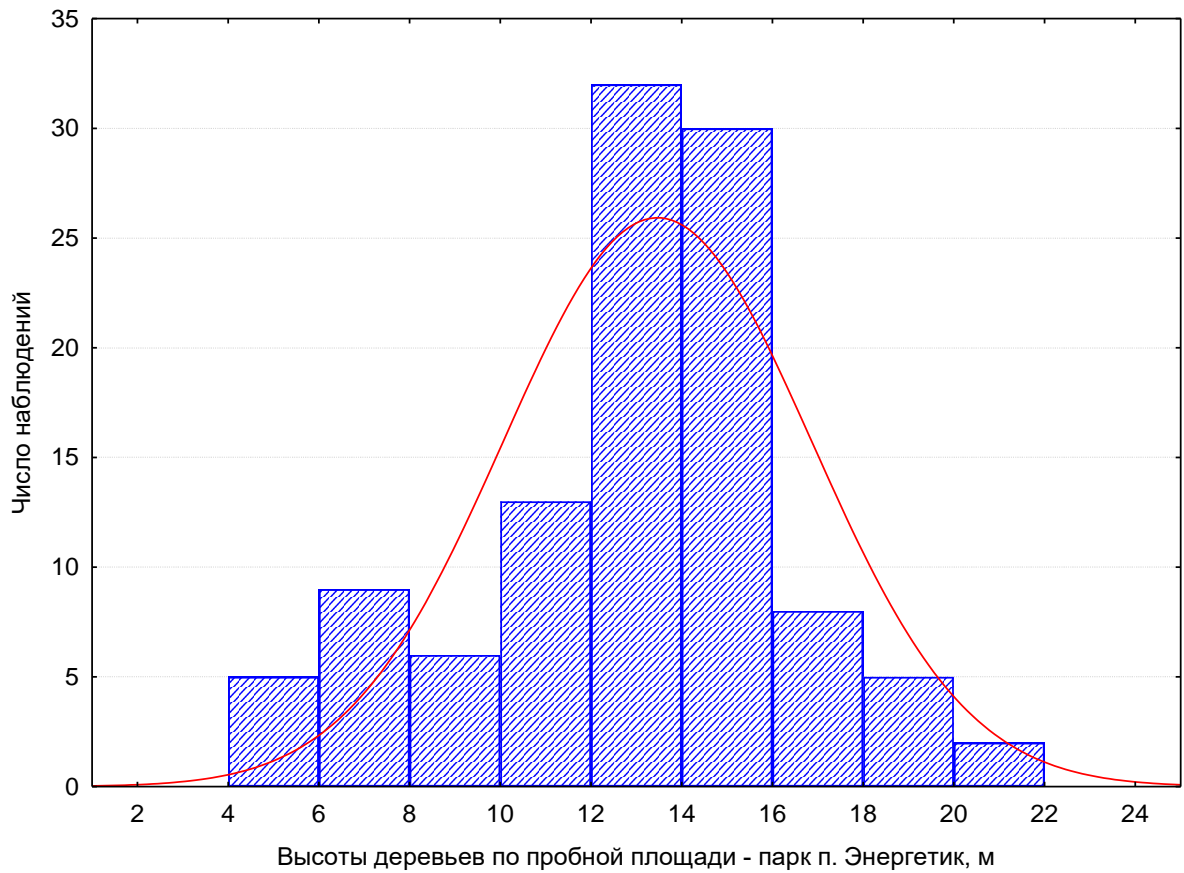


Рисунок 3.33 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения высот деревьев по пробной площади №2

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,152440886$ ,  $p<0,05$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения высот деревьев по пробной площади не принимается.

Таблица 3.8 – Основные значения описательной статистики для распределения высот деревьев по пробной площади №2

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
13,40455	11,46099	3,385408	-0,536698	0,230448	0,258299	0,457021

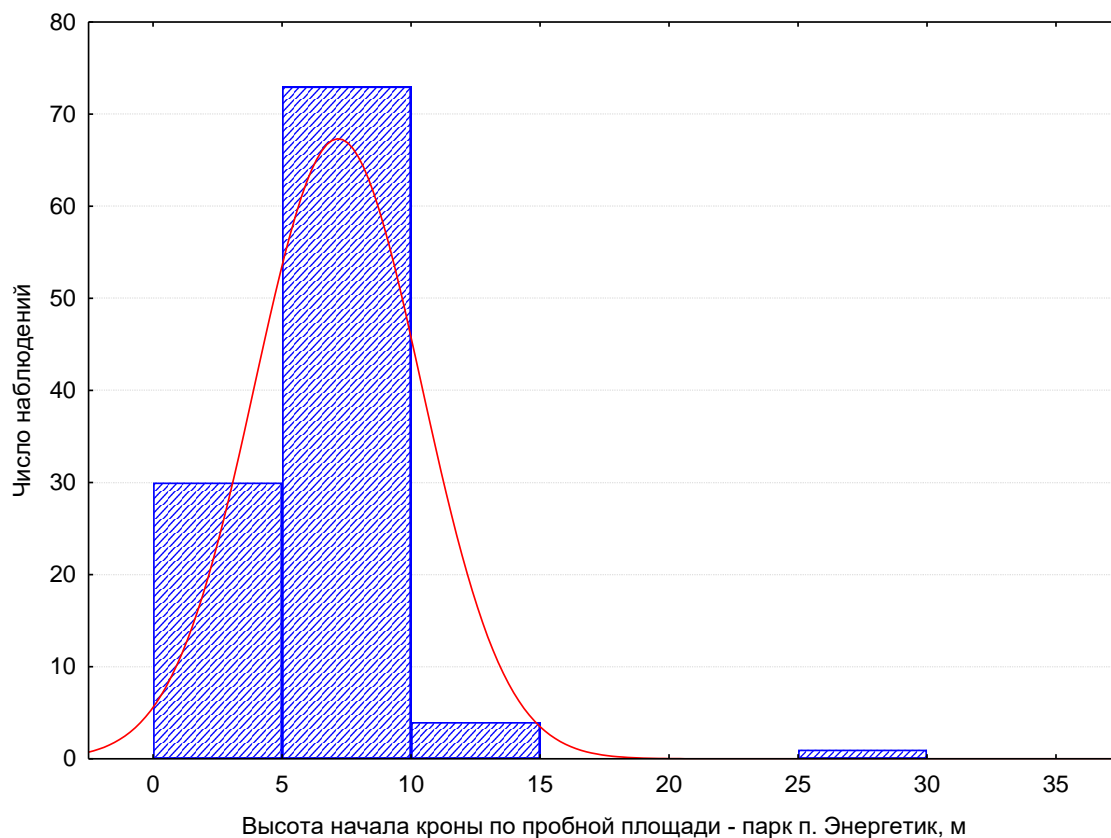


Рисунок 3.34 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади №2

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,170592595$ ,  $p<0,01$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади не принимается.

Таблица 3.9 – Основные значения описательной статистики для распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади №2

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
7,129630	10,24005	3,200008	3,603077	0,232515	23,82966	0,461055

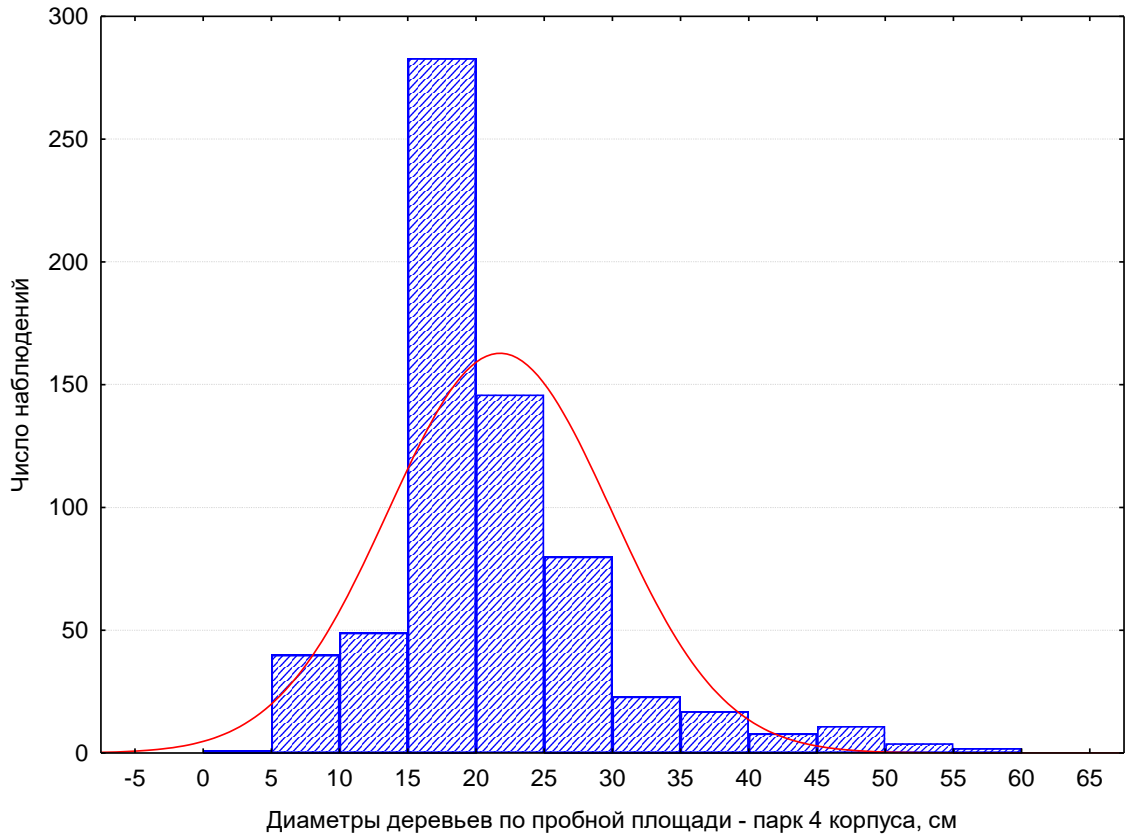


Рисунок 3.35 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения диаметров деревьев по пробной площади №3

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,166008747$ ,  $p<0,01$ .

В данном случае гипотеза о нормальности распределения диаметров по пробной площади не принимается.

Таблица 3.10 – Основные значения описательной статистики для распределения диаметров деревьев по пробной площади №3

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
21,60843	66,17525	8,134817	1,235485	0,094845	2,985628	0,189408

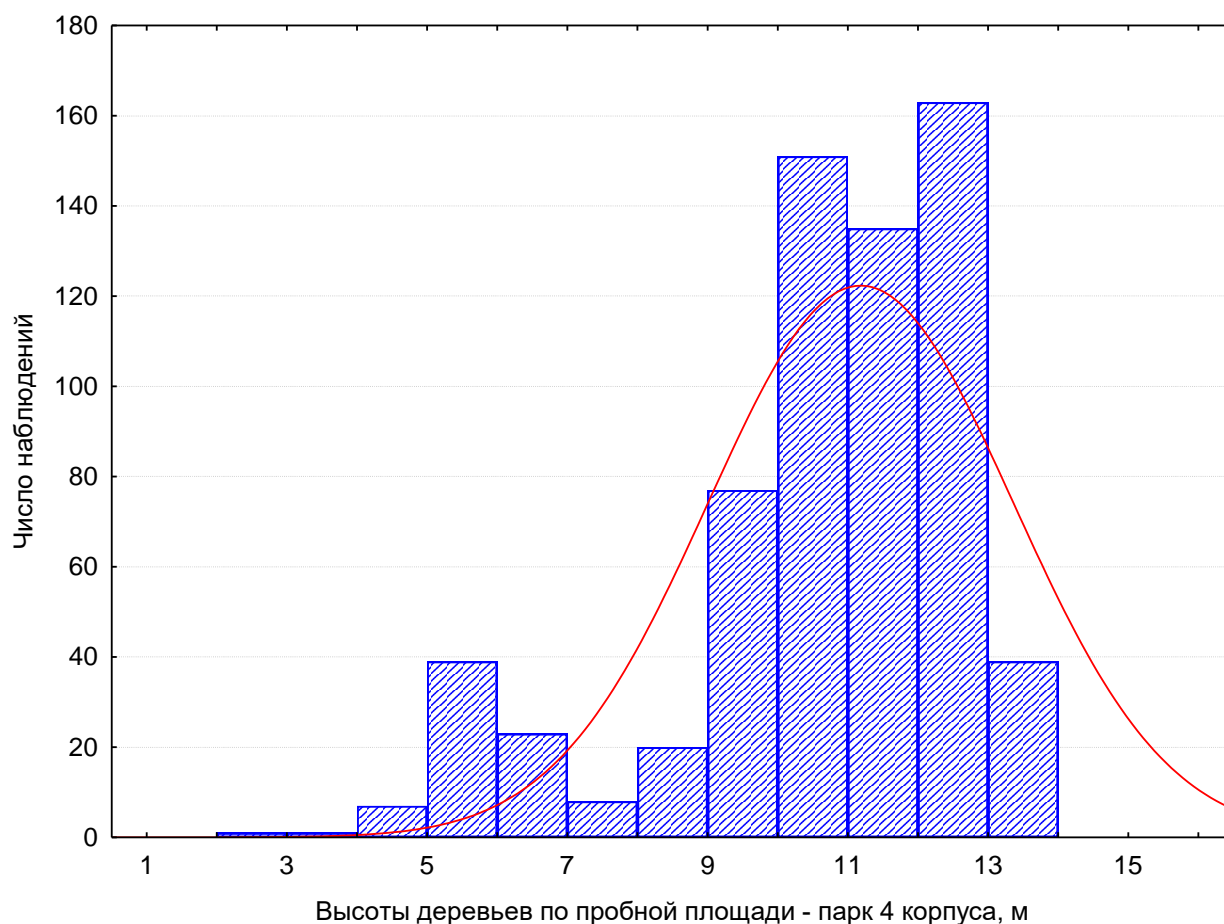


Рисунок 3.36 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения высот деревьев по пробной площади №3

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,210814579$ ,  $p<0,01$ .

В данном случае гипотеза о нормальности распределения высот деревьев по пробной площади не принимается.

Таблица 3.11 – Основные значения описательной статистики для распределения высот деревьев по пробной площади №3

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Экссесс	Станд. ошибка эксцесса
11,13102	4,688689	2,165338	-1,22031	0,094845	1,043603	0,189408

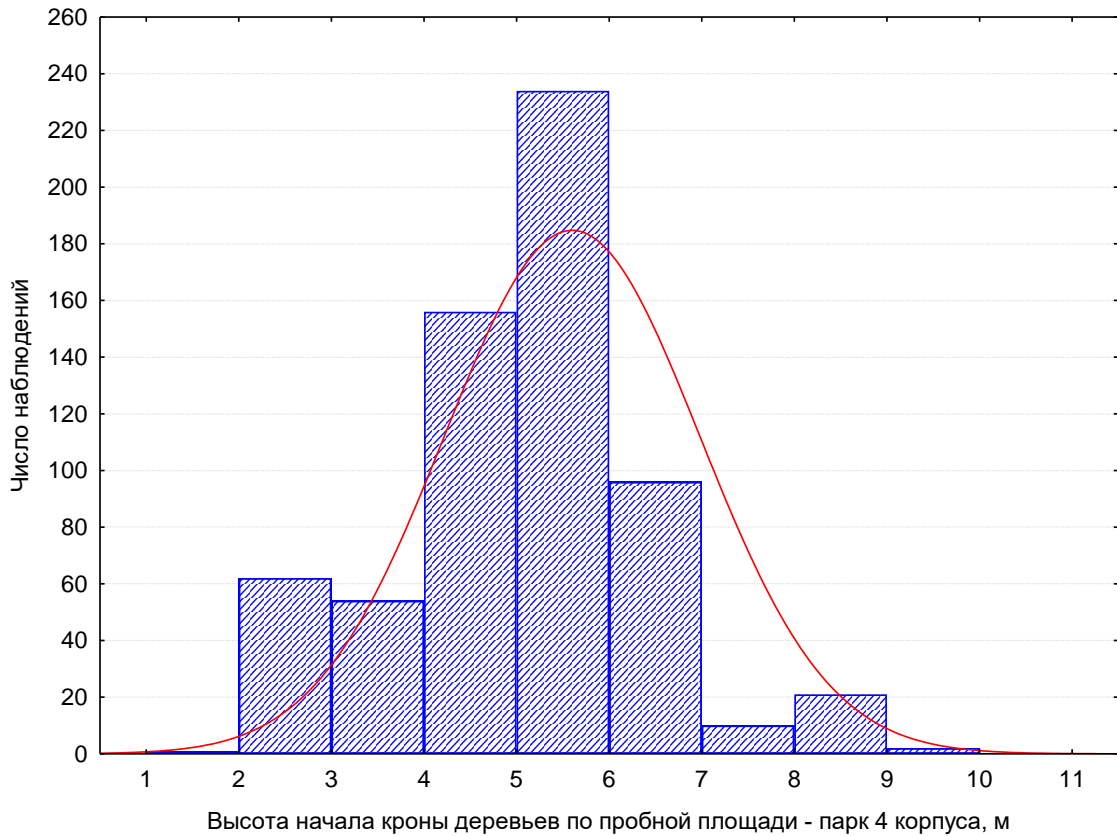


Рисунок 3.37 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади №3

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,192581417$ ,  $p<0,01$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади не принимается.

Таблица 3.12 – Основные значения описательной статистики для распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади №3

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
5,573899	1,885869	1,373269	0,064662	0,096901	0,407401	0,193500

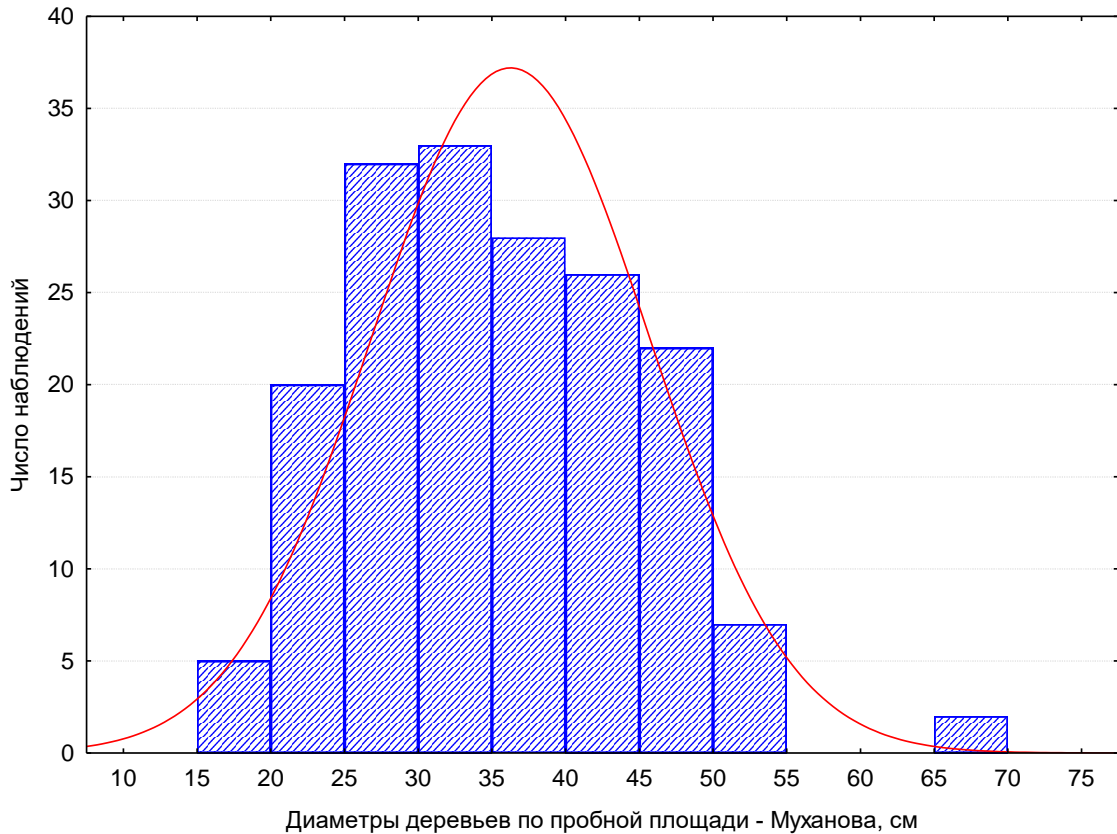


Рисунок 3.38 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения диаметров деревьев по пробной площади №4

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,0686867704$ ,  $p<0,1$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения диаметров по пробной площади принимается.

Таблица 3.13 – Основные значения описательной статистики для распределения диаметров деревьев по пробной площади №4

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
36,12286	88,04373	9,383162	0,361671	0,183603	-0,014244	0,365208

Значение асимметрии положительное, следовательно, наблюдается смещение распределения в сторону значений, превышающих среднее. Наблюдается отклонение в сторону учащения встречаемости крайних значений относительно нормального распределения (эксцесс отрицательный). На данной

пробной площади повышена вероятность произрастания деревьев с увеличенным диаметром ствола.

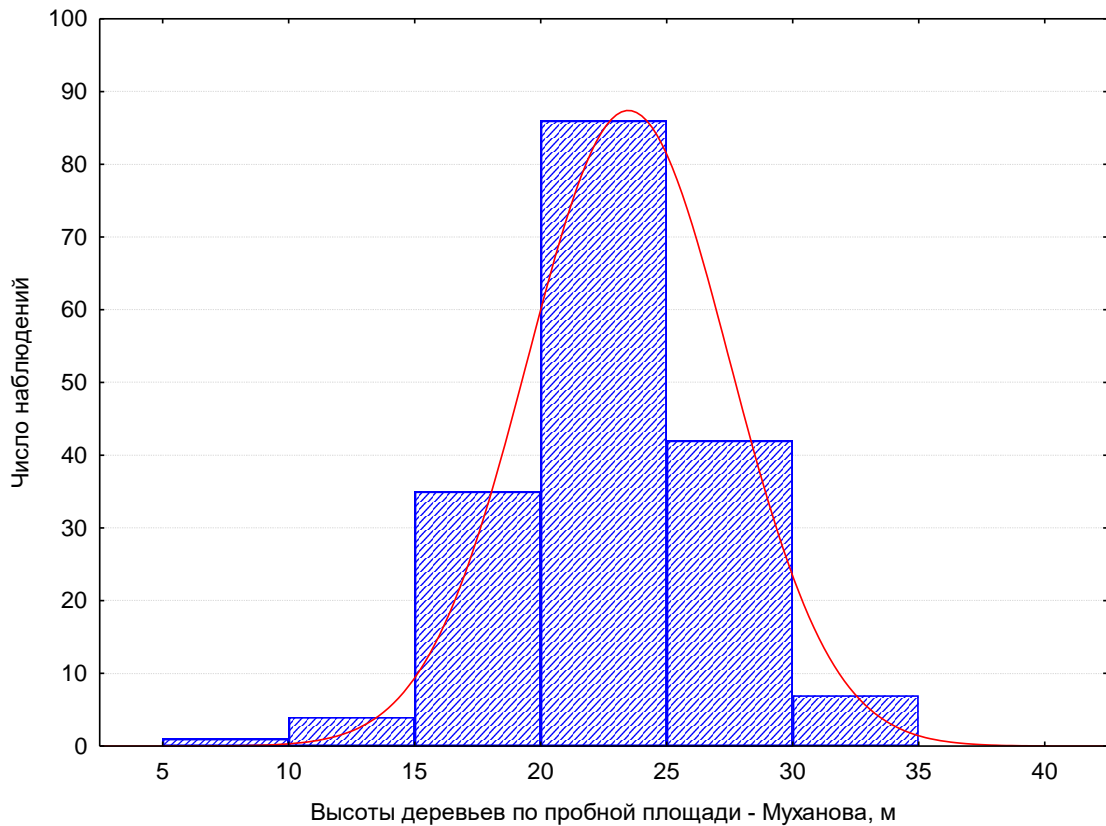


Рисунок 3.39 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения высот деревьев по пробной площади №4

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,0804759867$ ,  $p<0,1$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения высот деревьев по пробной площади принимается.

Значение асимметрии (таблица 3.14) положительное, следовательно, наблюдается смещение распределения в сторону значений, превышающих среднее. Наблюдается отклонение в сторону учащения встречаемости средних значений относительно нормального распределения (эксцесс положительный). На данной пробной площади повышена вероятность произрастания деревьев со средней высотой или немного выше среднего.



Таблица 3.14 – Основные значения описательной статистики для распределения высот деревьев по пробной площади №4

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
23,37714	15,9489	3,993607	0,013214	0,183603	0,765228	0,365208

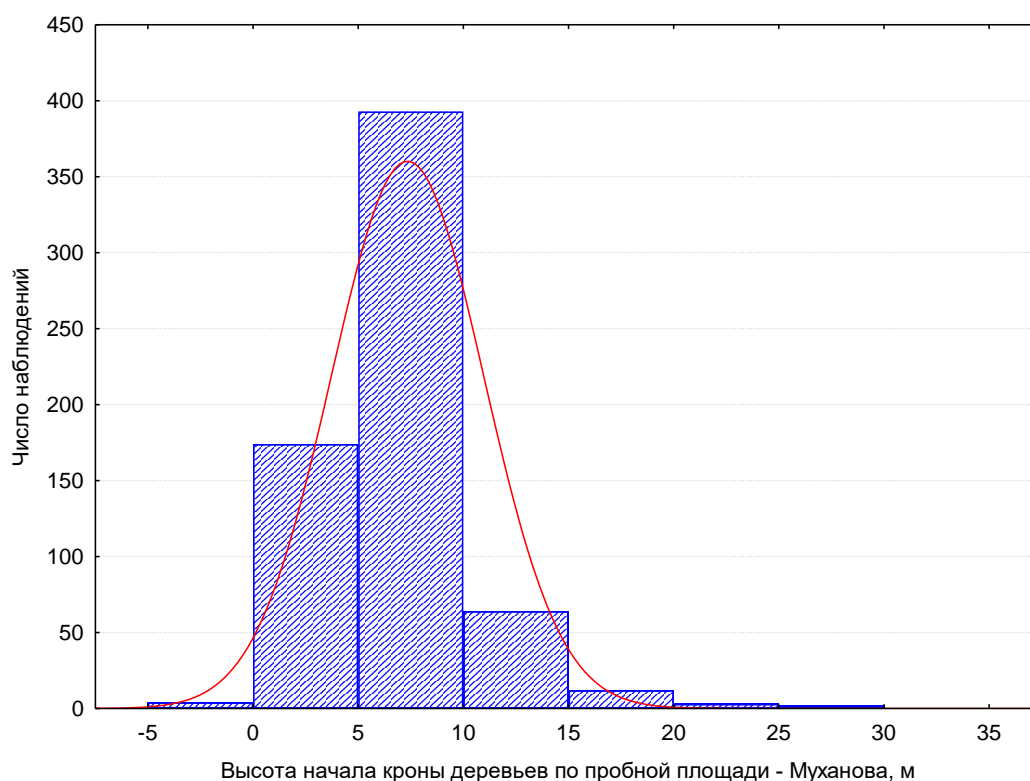


Рисунок 3.40 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади №4

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,241626838$ ,  $p<0,1$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади принимается.

Таблица 3.15 – Основные значения описательной статистики для распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади №4

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
7,271472	13,03372	3,610224	2,044320	0,095710	6,693332	0,191130

Значение асимметрии положительное, следовательно, наблюдается смещение распределения в сторону значений, превышающих среднее.

Наблюдается отклонение в сторону учащения встречаемости средних значений относительно нормального распределения (эксцесс положительный). На данной пробной площади повышена вероятность произрастания деревьев со средней высотой начала кроны или немного выше среднего.

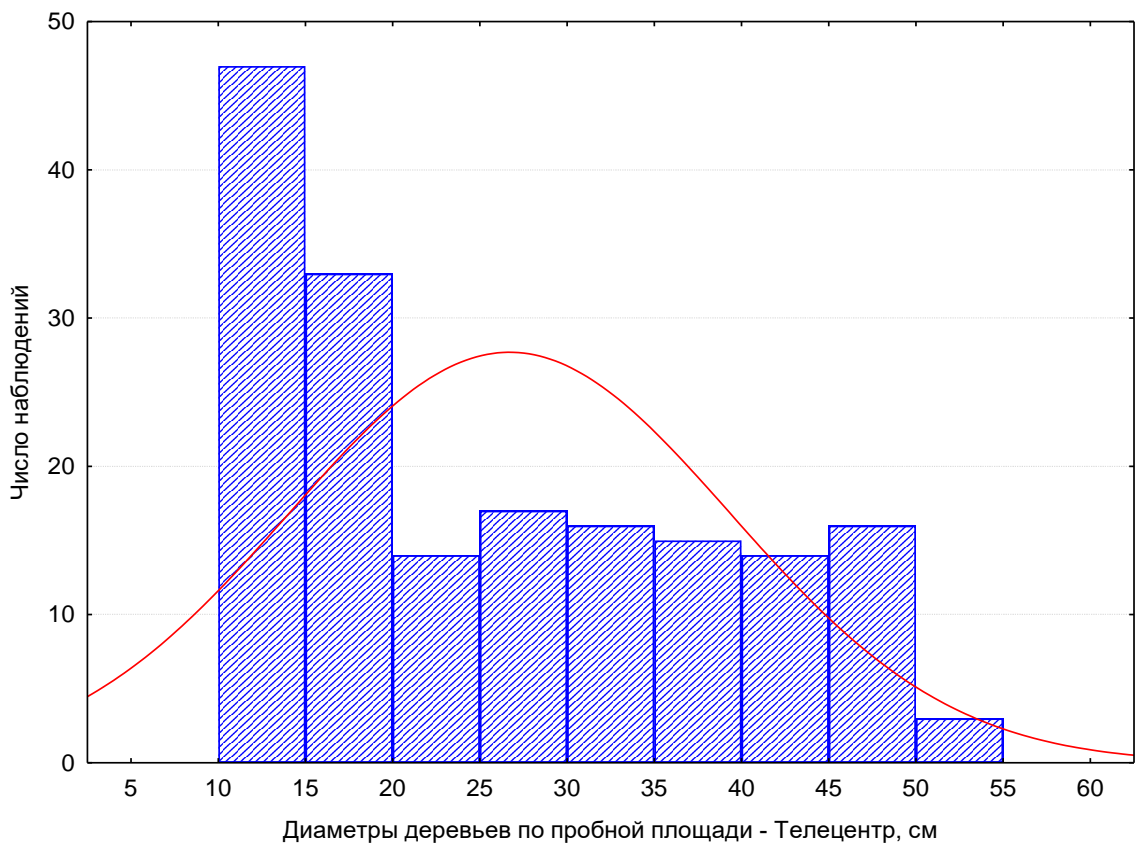


Рисунок 3.41 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения диаметров деревьев по пробной площади №5

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,180747521$ ,  $p<0,01$ .

В данном случае гипотеза о нормальности распределения диаметров по пробной площади не принимается.

Таблица 3.16 – Основные значения описательной статистики для распределения диаметров деревьев по пробной площади №5

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
26,58857	158,8901	12,60516	0,498590	0,183603	-1,18023	0,365208

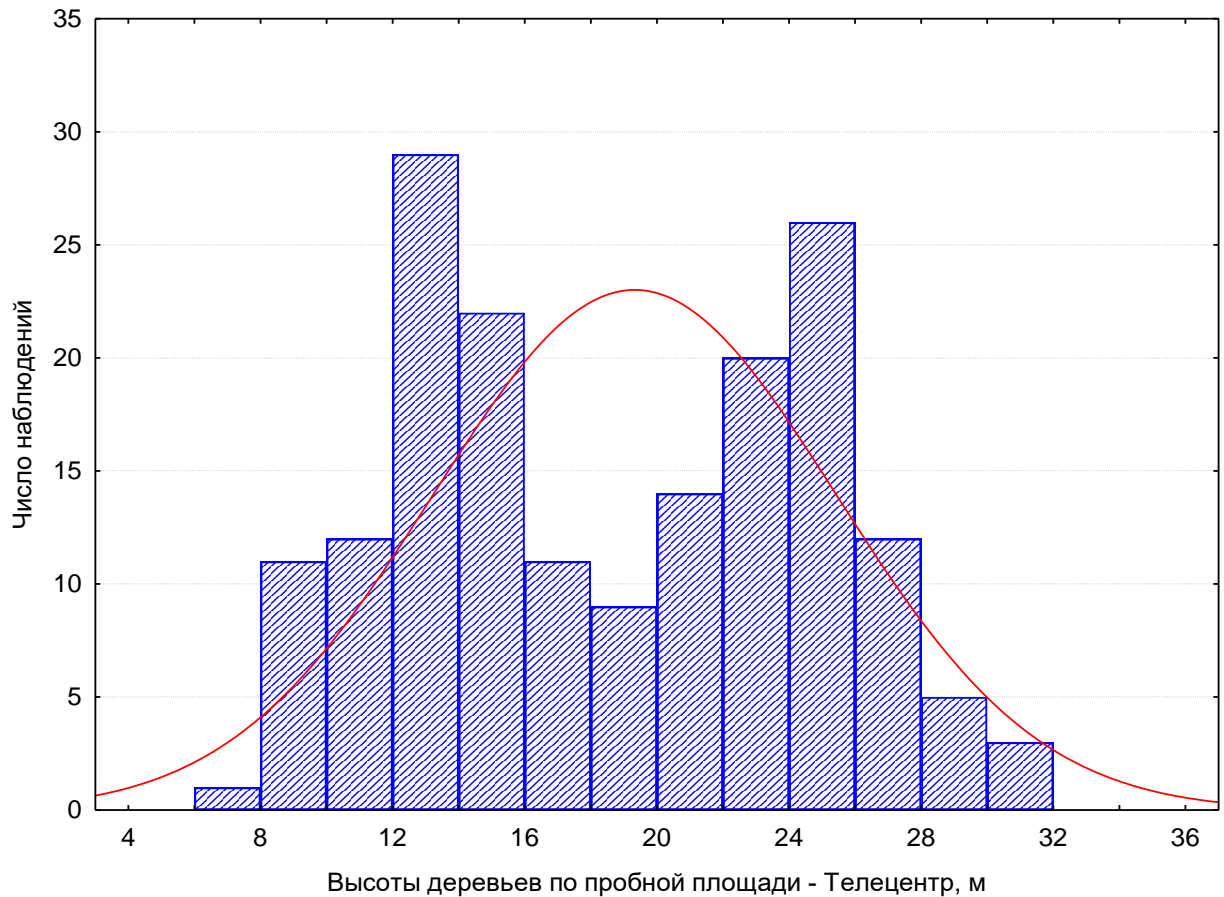


Рисунок 3.42 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения высот деревьев по пробной площади №5

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,132184818$ ,  $p<0,01$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения высот деревьев по пробной площади не принимается.

Таблица 3.17 – Основные значения описательной статистики для распределения высот деревьев по пробной площади №5

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
19,24571	36,83008	6,068779	0,094168	0,183603	-1,18604	0,365208

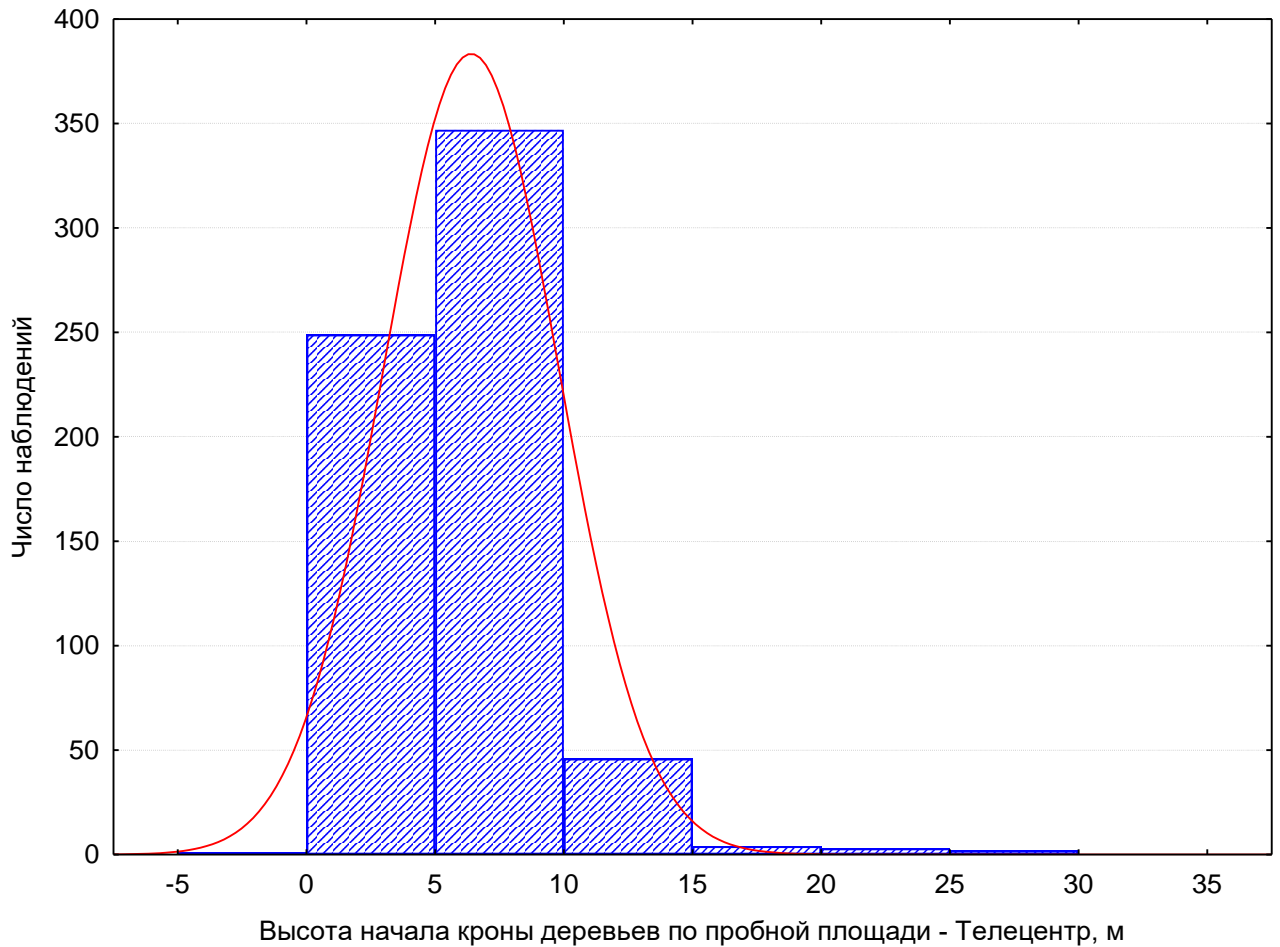


Рисунок 3.43 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади №5

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,233051189$ ,  $p<0,01$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения высот начала кроны по пробной площади не принимается.

Таблица 3.18 – Основные значения описательной статистики для распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади №5

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
6,329908	11,50662	3,392140	2,297899	0,095710	9,795031	0,191130

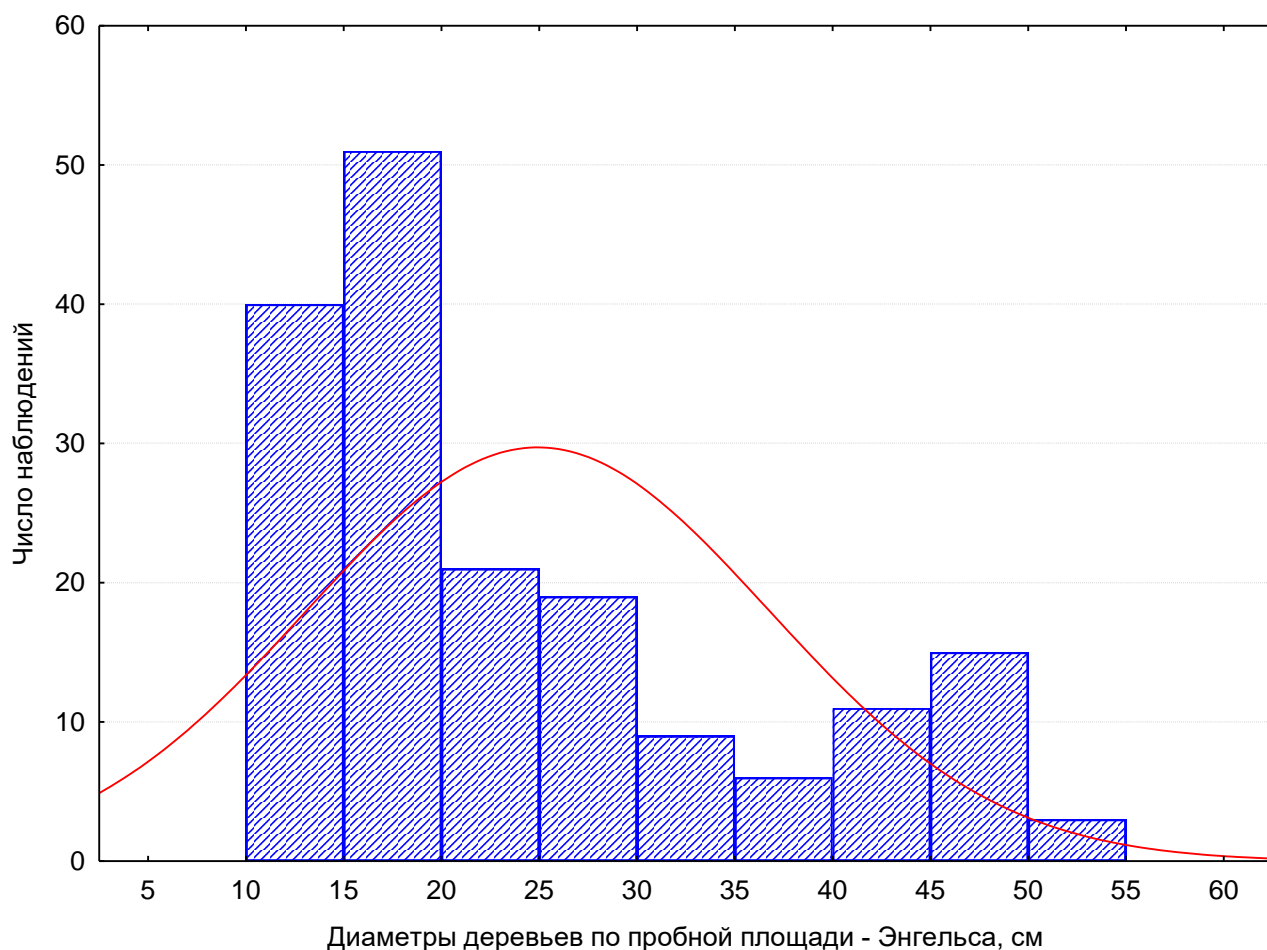


Рисунок 3.44 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения диаметров деревьев по пробной площади №6

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,181777179$ ,  $p<0,01$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения диаметров по пробной площади не принимается.

Таблица 3.19 – Основные значения описательной статистики для распределения высот диаметров деревьев по пробной площади №6

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
24,82000	137,9689	11,74601	0,970776	0,183603	-0,370294	0,365208

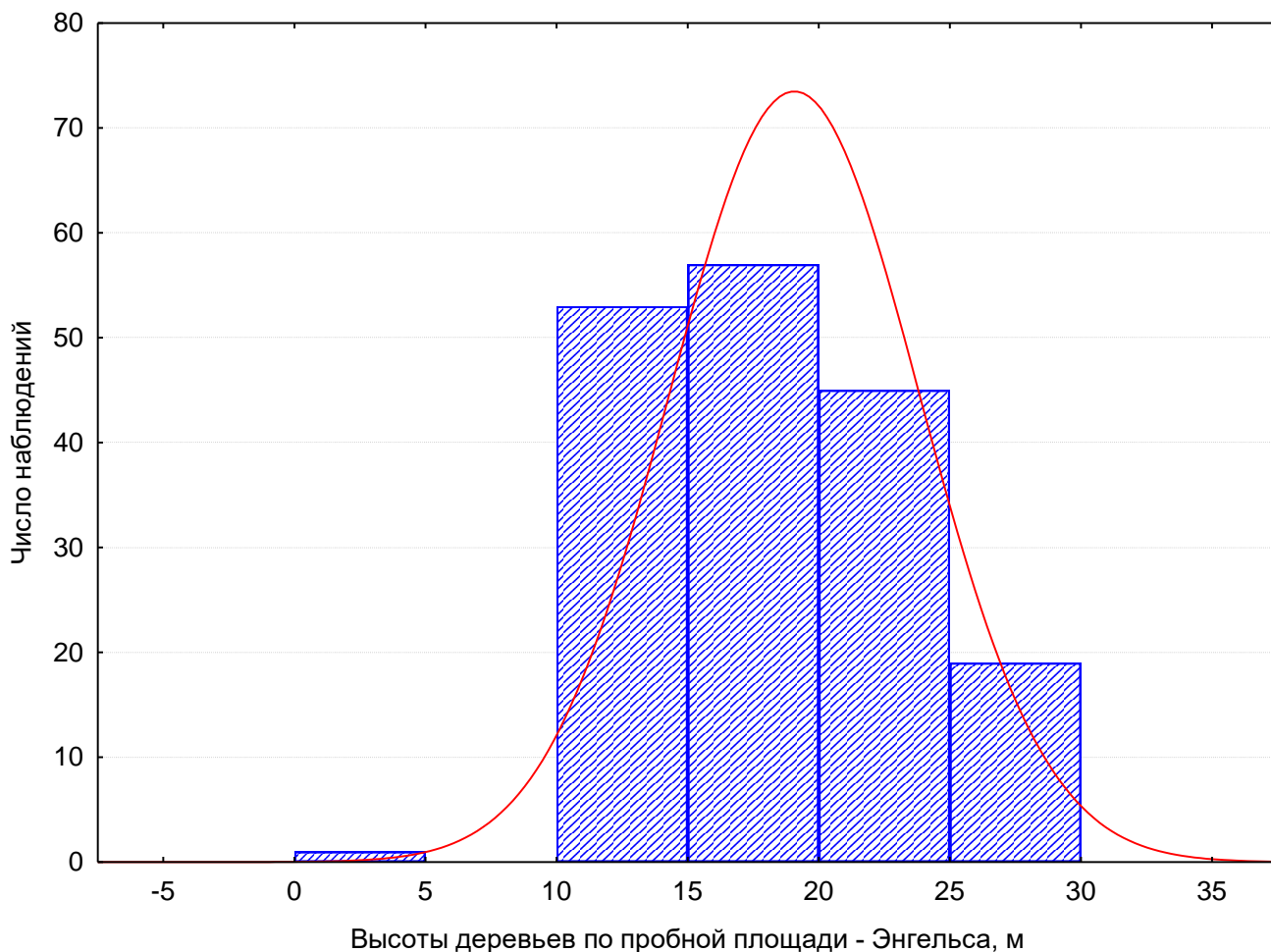


Рисунок 3.45 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения высот деревьев по пробной площади №6

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,160386491$ ,  $p<0,01$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения высот деревьев по пробной площади не принимается.

Таблица 3.20 – Основные значения описательной статистики для распределения высот деревьев по пробной площади №6

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
18,93714	22,56499	4,750262	0,149878	0,183603	-0,380502	0,365208

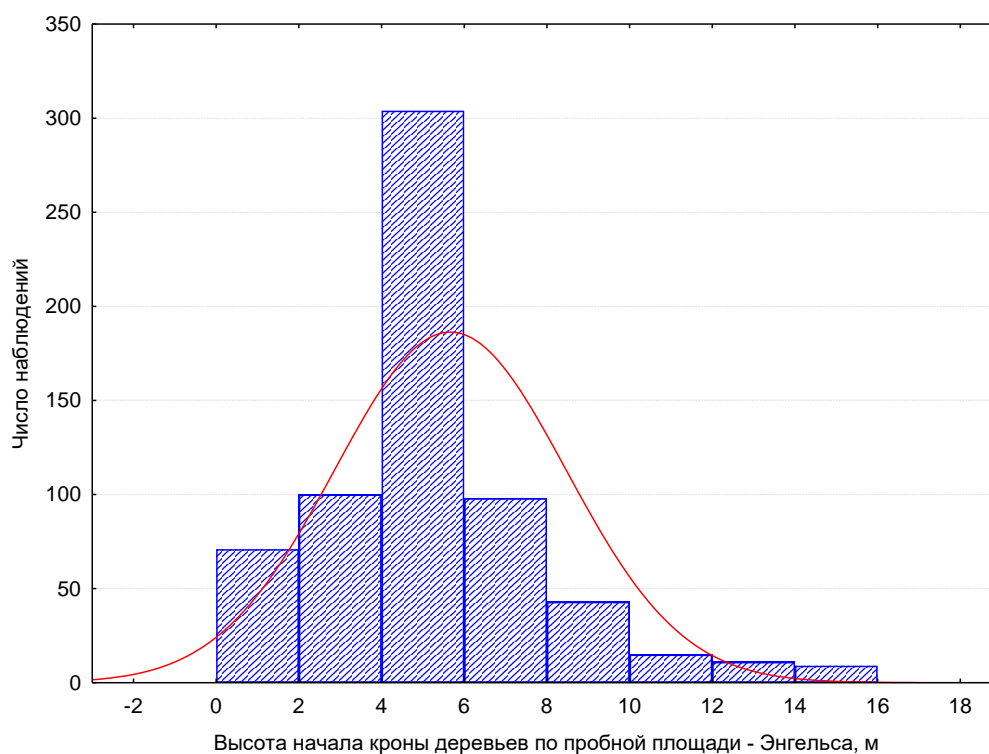


Рисунок 3.46 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади №6

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,175491223$ ,  $p<0,01$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади не принимается.

Таблица 3.21 – Основные значения описательной статистики для распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади №6

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
5,620430	7,770305	2,787527	0,784492	0,095783	1,658028	0,191275

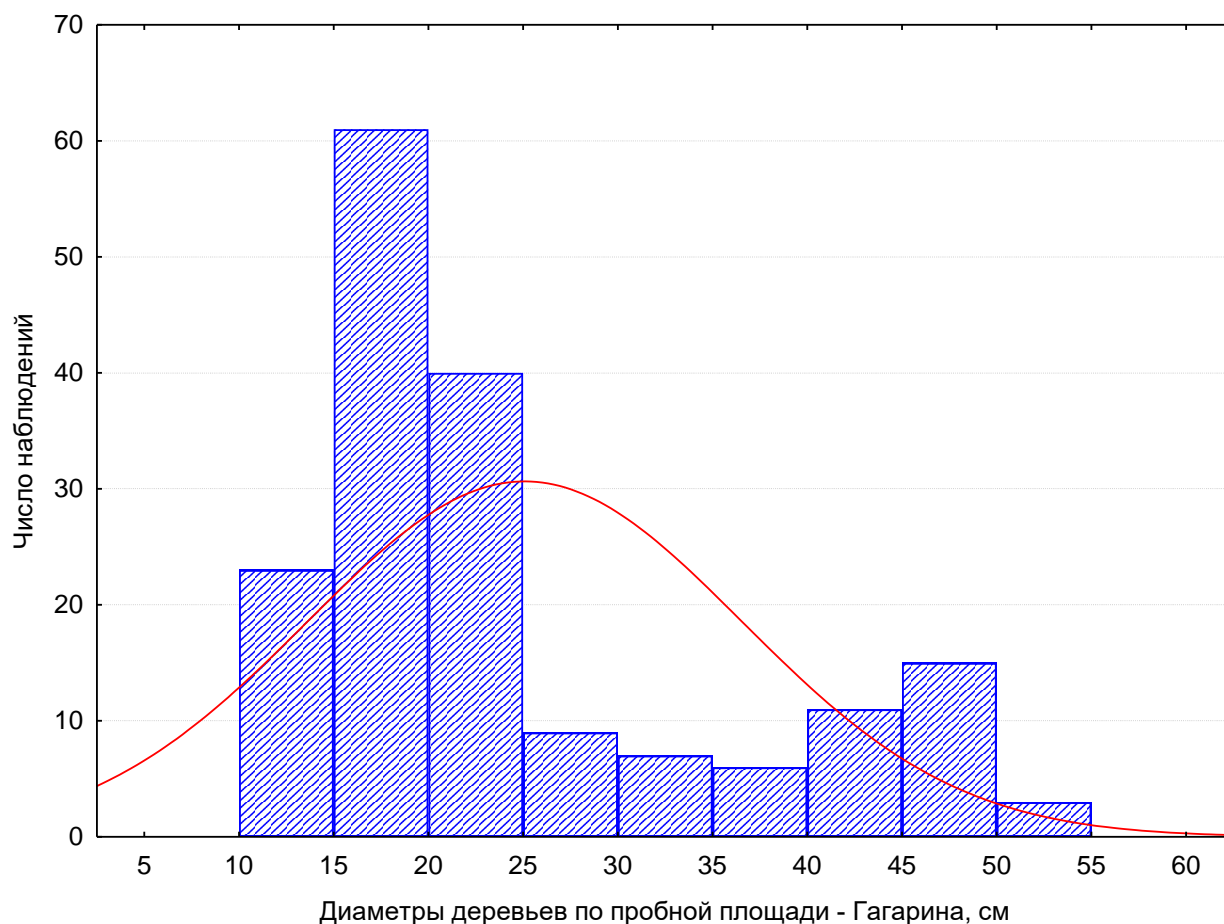


Рисунок 3.47 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения диаметров деревьев по пробной площади №7

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,225936359$ ,  $p<0,01$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения диаметров по пробной площади не принимается.

Таблица 3.22 – Основные значения описательной статистики для распределения диаметров деревьев по пробной площади №7

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
24,97429	129,7795	11,39208	1,071787	0,183603	-0,129976	0,365208



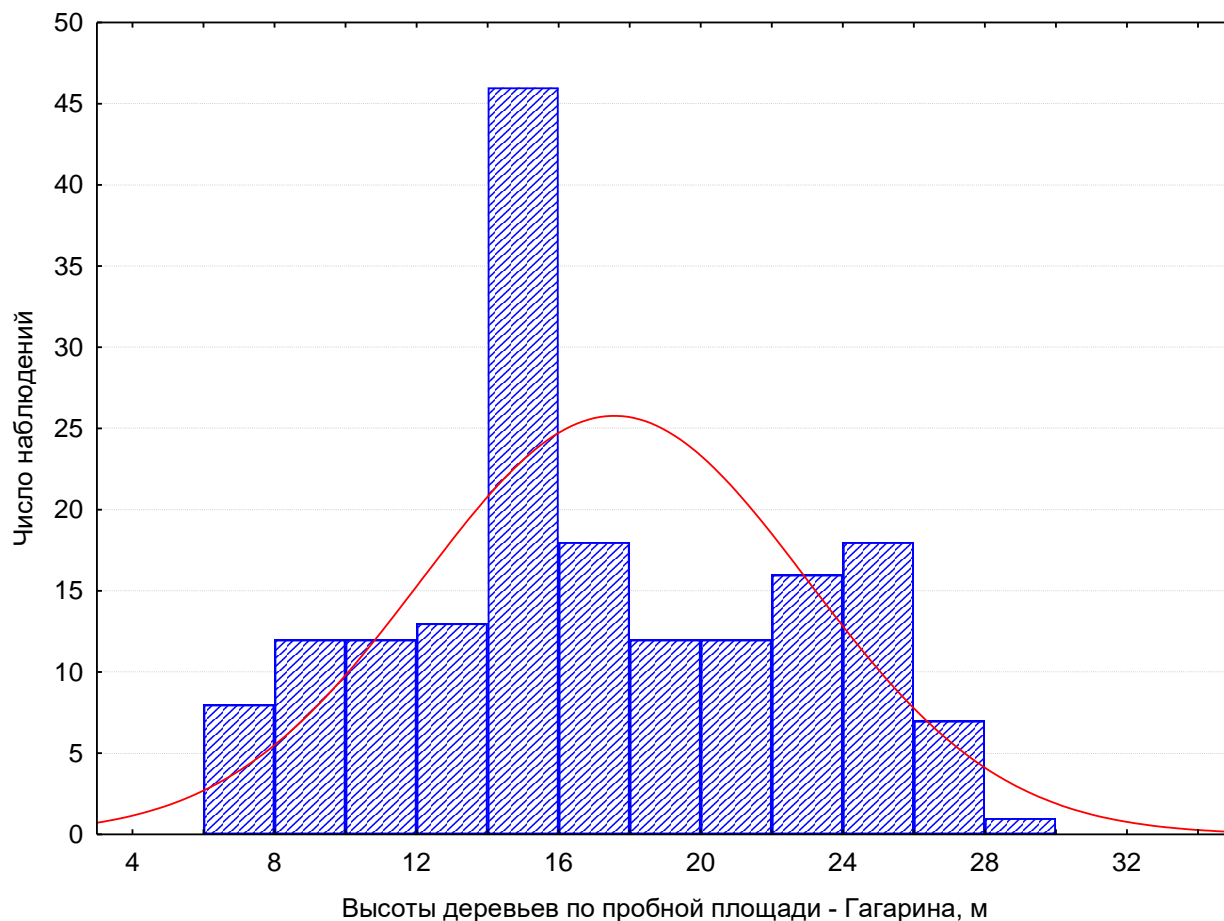


Рисунок 3.48 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения высот деревьев по пробной площади №7

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,128872269$ ,  $p<0,01$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения высот деревьев по пробной площади не принимается.

Таблица 3.23 – Основные значения описательной статистики для распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади №7

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
17,49714	29,34338	5,416953	0,149613	0,183603	-0,815831	0,365208

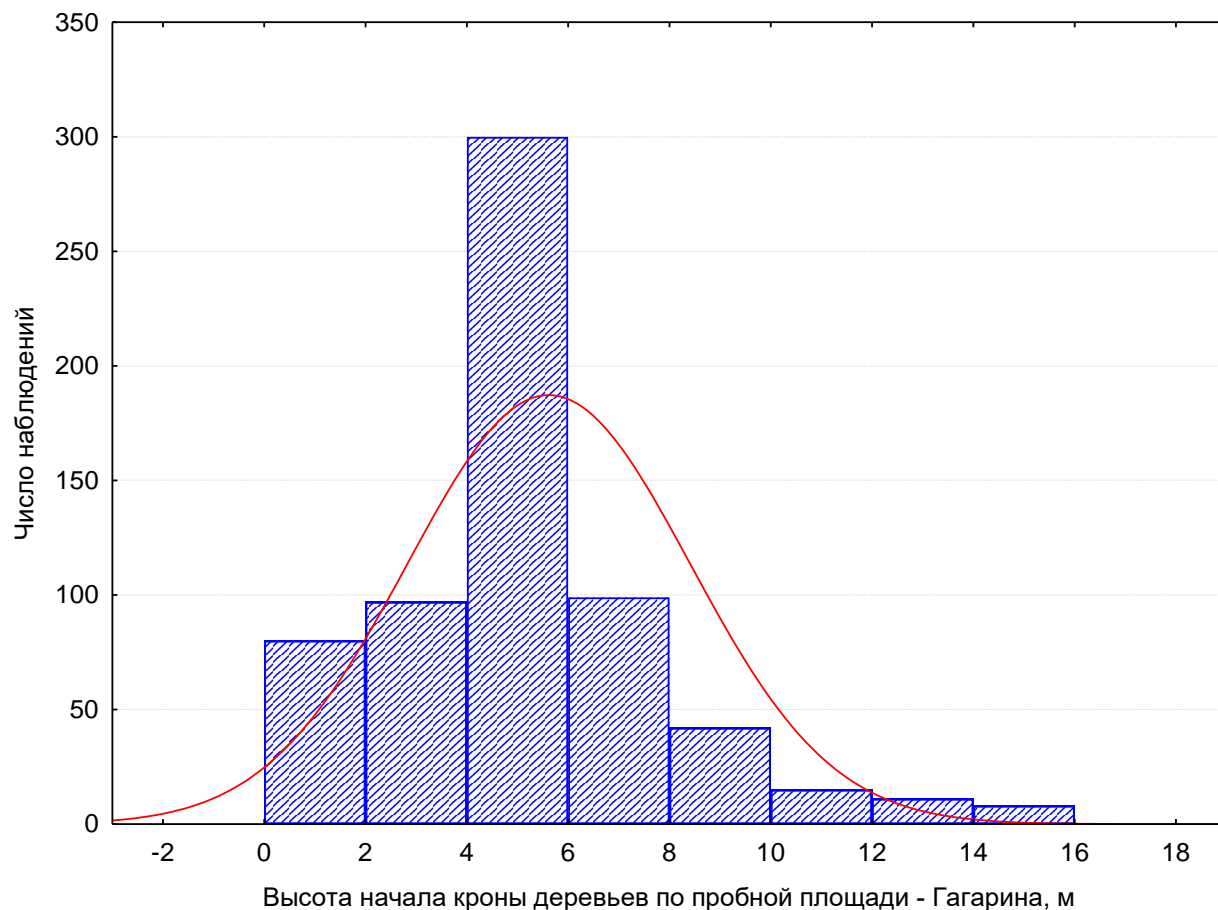


Рисунок 3.49 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади №7

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,171934159$ ,  $p<0,01$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади не принимается.

Таблица 3.24 – Основные значения описательной статистики для распределения высот начала кроны деревьев по пробной площади №7

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Экссесс	Станд. ошибка эксцесса
5,573926	7,715663	2,777708	0,749646	0,095710	1,605592	0,191130

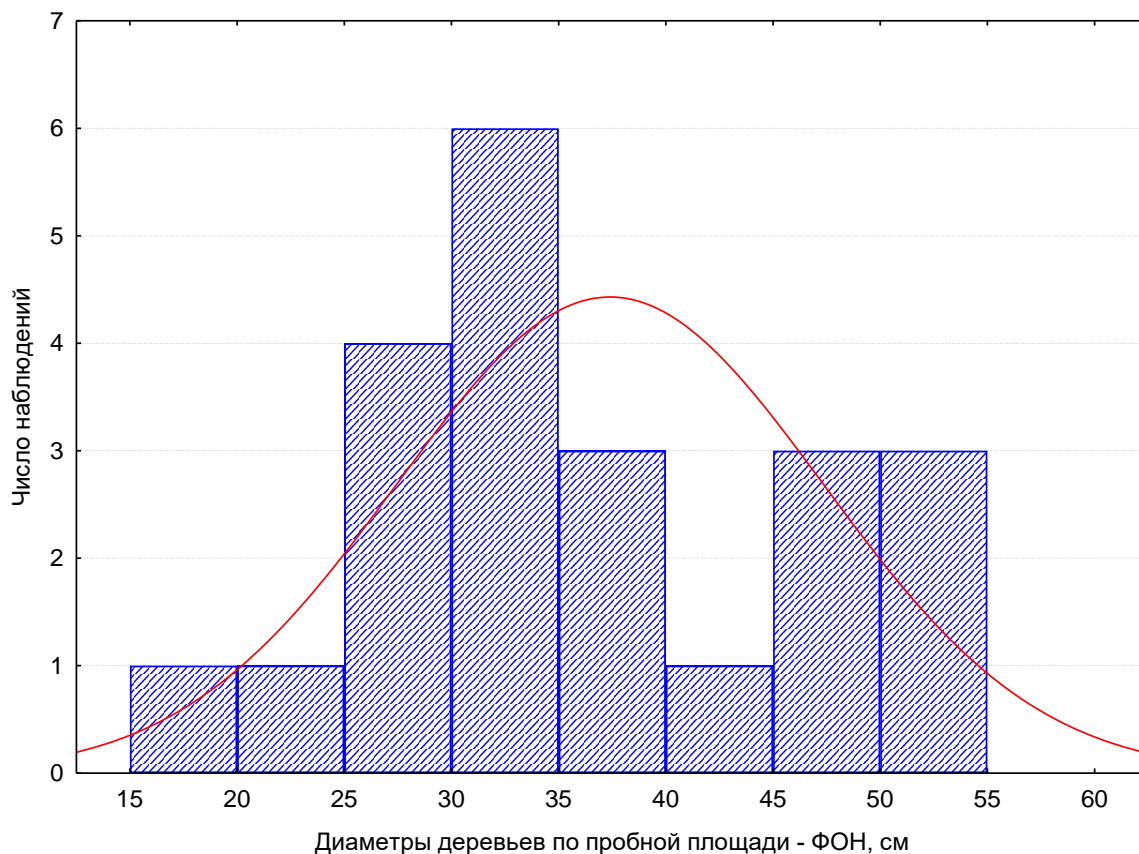


Рисунок 3.50 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения диаметров деревьев по пробной площади №8

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,174907826$ ,  $p<0,1$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения диаметров по пробной площади принимается.

Таблица 3.25 – Основные значения описательной статистики для распределения диаметров деревьев по пробной площади №8

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
37,27273	98,11255	9,905178	0,283286	0,490962	-0,876588	0,952780

Значение асимметрии положительное, следовательно, наблюдается смещение распределения в сторону значений, превышающих среднее. Наблюдается отклонение в сторону учащения встречаемости крайних значений

относительно нормального распределения (эксцесс отрицательный). На данной пробной площади повышена вероятность произрастания деревьев со значительно увеличенным диаметром деревьев.

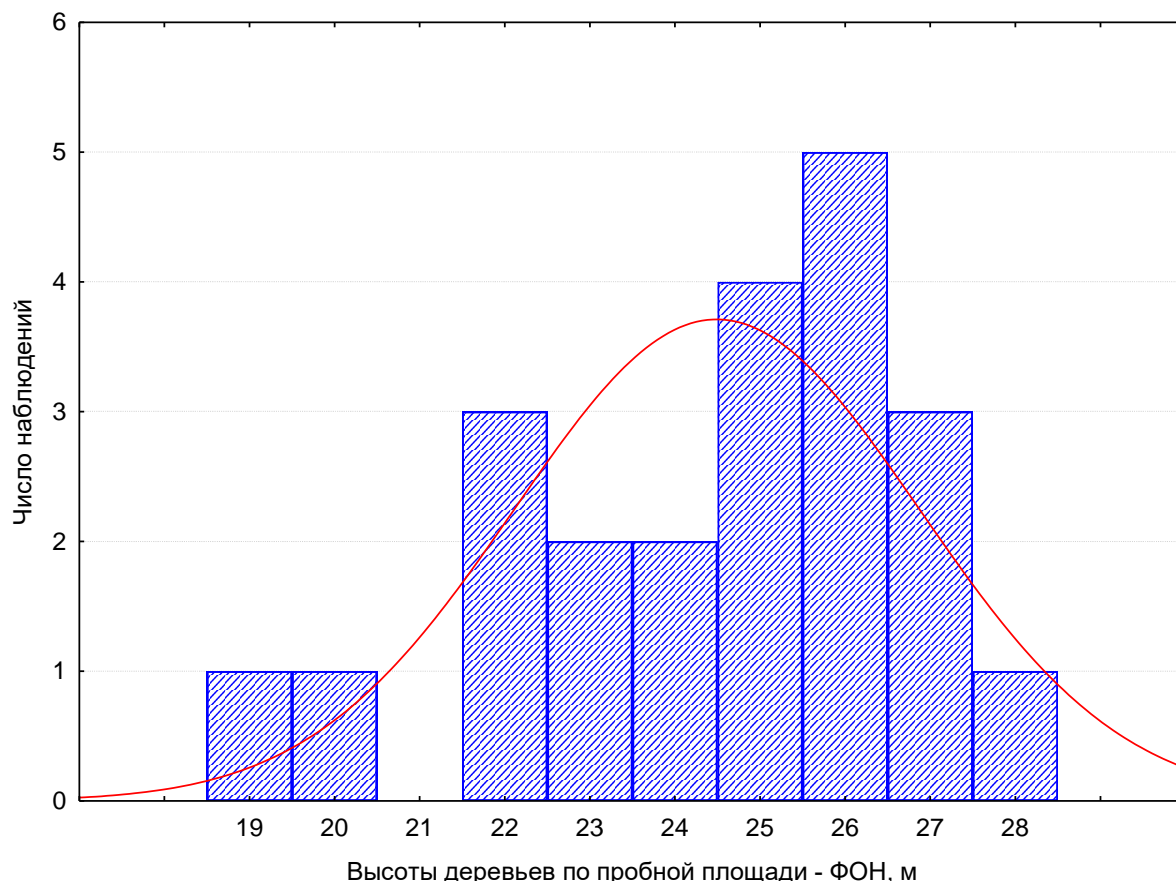


Рисунок 3.51 - Гистограмма с наложенной на ней кривой нормального распределения высот деревьев по пробной площади №8

Критерий нормального распределения Колмогорова-Смирнова составляет  $d=0,182111571$ ,  $p<0,06$ . В данном случае гипотеза о нормальности распределения высот деревьев по пробной площади принимается.

Таблица 3.26 – Основные значения описательной статистики для распределения высот деревьев по пробной площади №8

Среднее арифмет.	Дисперсия	Среднее квадратич. отклонение	Асимметрия	Станд. ошибка асимметрии	Эксцесс	Станд. ошибка эксцесса
24,45455	5,593074	2,364968	-0,745400	0,490962	-0,016085	0,952780

Значение асимметрии отрицательное, следовательно, наблюдается смещение распределения в сторону значений ниже среднего. Наблюдается отклонение в сторону учащения встречаемости крайних значений относительно нормального распределения (эксцесс отрицательный). На данной пробной площади повышена вероятность произрастания деревьев со значительно увеличенным диаметром деревьев.

Анализируя все ранее изложенное, можно сделать следующие выводы:

1. Значительных статистических отклонений в зависимости между высотой и диаметром ствола от фоновых значений не выявлено;

2. Существенных отклонений в статистических показателях в распределении крон деревьев пробных площадей по преобладающим формам от фоновой площади не выявлено. Фиксируется увеличение доли сухих ветвей в кронах древостоев с высокой долей антропогенной нагрузки (городских парках – площадях № 1, 2, 3), а также на площади №5;

3. При анализе статистики наличия внешних пороков ствола исследуемых деревьев была выявлена увеличенная встречаемость разнотипных пороков на одном стволе для площадей № 1-3 (более чем в 60% случаев). На пробных площадях № 4-7 встречаемость нескольких разнотипных пороков на одном стволе ниже (0-12% выборки), однако доля неповрежденных стволов все еще ниже (от 50 до 80% выборки), чем на фоновой площади (95% выборки). Среди внешних пороков древесины на исследованных площадях наибольшей встречаемостью характеризуются: механические повреждения, сухобокость, червоточины и обугленность.

4. На большинстве исследованных площадей преобладающим классом санитарного состояния является 3 – сильно ослабленные деревья. Доля здоровых деревьев (класс санитарного состояния 1) максимальна на площади №8 (фоновая площадь), что подтверждает факт угнетенности деревьев урбоценозов;

5. При анализе состояния древостоев по классификации Крафта было выявлено отсутствие различий в преобладающих классах древостоя. Однако значительная доля деревьев IV и V классов (деревья угнетенные и деревья

отмирающие и мертвые) на пробных площадях № 1-5 свидетельствует об угнетенности и нарушенности древостоя;

6. Исходя из анализа статистических параметров выборки 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

Результаты оценки состояния древесины *Pinus sylvestris* L. методом импульсной томографии с использованием прибора Arbotom® приведены в таблице 4.1 [55, 82-84, 86, 109].

Таблица 4.1 – Результаты проведения оценки состояния древесины *Pinus sylvestris* L. методом импульсной томографии

Номер пробной площади	Средняя скорость импульса, м/с	Доля нарушенной древесины, %
Измерение на высоте груди		
1	694,11-1054,32	15,31-78,93
2	962,77-1416,08	15,87-47,28
3	927,49-1189,94	12,15-44,20
4	1063,30-1243,81	4,06-23,44
5	1138,37-1321,76	0-25,62
6	1194,03-1320,59	4,06-34,06
7	1026,46-1422,17	4,40-30,60
8	960,06-1277,03	6,90-29,70
Измерение на высоте шейки корня		
1	610,21-1185,30	15,99-70,75
2	765,76-1185,82	12,58-62,07
3	1012,91-1151,52	10,94-37,62
4	1038,57-1272,95	3,44-26,87
5	1195,24-1393,59	0-20,94
6	1137,29-1402,53	4,06-18,44
7	1040,95-1341,20	0-19,10
8	909,16-1284,43	7,19-24,10

Примеры результатов осуществления импульсной томографии модельных деревьев с различных пробных площадей приведены на рисунках 4.1-4.24 и в таблицах 4.2 – 4.17.

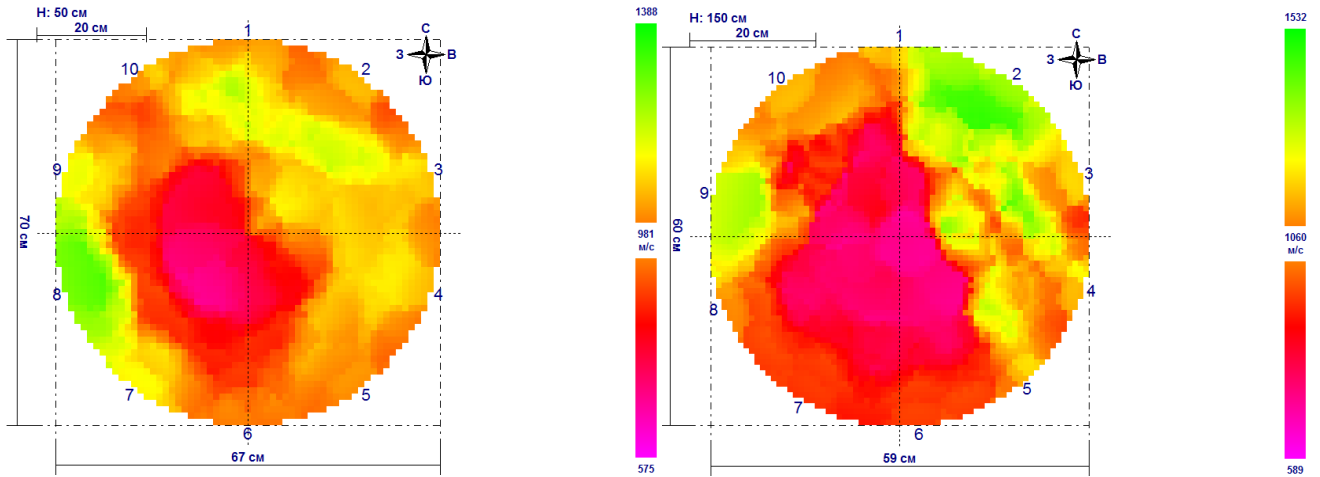


Рисунок 4.1 – Томограммы модельного дерева №1 на высоте 50 см (слева) и 150 см (справа)

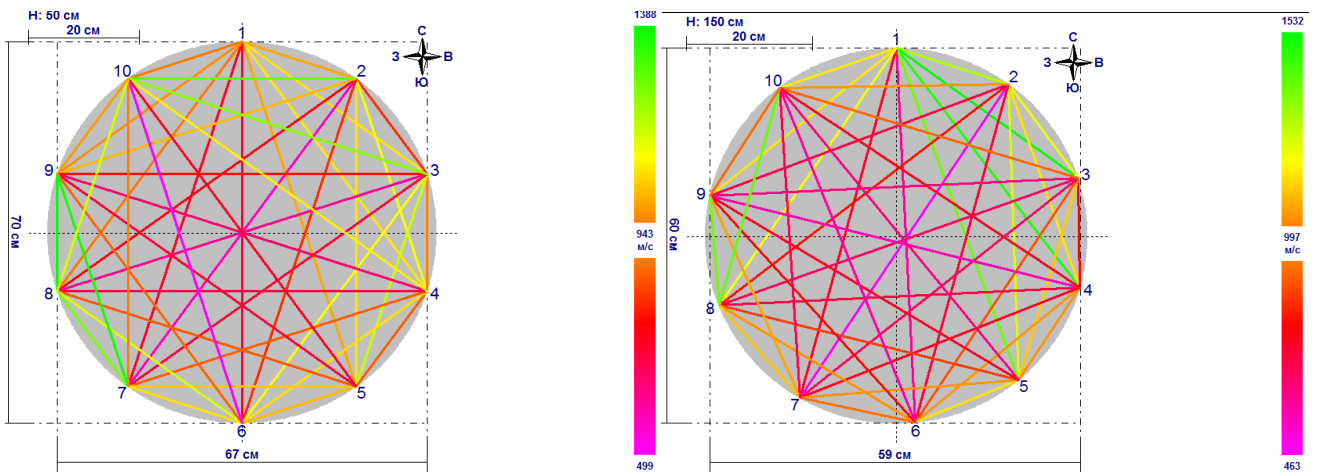


Рисунок 4.2 – Линейные графики импульса модельного дерева №1 на высоте 50 см (слева) и 150 см (справа)

Таблица 4.2 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №1 на высоте 50 см, м/с

№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1			644	731	715	397	336	653	644	
2				735	798	710	575	672	777	897
3	755				812	843	633	621	701	952
4	823	789				750	698	621	667	929
5	859	823	822				731	695	631	742



6	718	734	790	707				807	703	432
7	648	565	580	650	723				973	729
8	721	642	609	423	675	780				815
9	684	781	678	636	608	670	913			
10		909	878	851	534	422	719	778		

Таблица 4.3 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №1 на высоте 150 см, м/с

№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1			1090	1145	1180	585	663	926	821	
2				793	902	587	452	727	526	653
3	867				755	692	583	672	563	716
4	997	806				693	596	624	556	651
5	1040	938	778				727	699	643	627
6	529	620	708	726				731	635	517
7	327	441	442	575	699				703	409
8	860	734	598	607	679	682				935
9	648	564	556	541	660	626	747			
10		731	746	673	643	477	553	993		

На рисунках 4.1-4.3 представлено модельное дерево с хорошо различимой ядровой стволовой гнилью на всех исследованных высотах. Согласно таблицам 4.2-4.3 среднее значение на высоте 50 см составляет 703,5 м/с; на высоте 150 см – 694,11 м/с. Значения импульса между 2 последовательно соединенными датчиками не учитывались, так как затрагивают поверхностные слои древесины и повышают вероятность недостоверной интерпретации результатов. Зона пониженной плотности на высоте шейки корня выделяется графически четко, скорость прохождения импульса в ней имеет среднее значение 499 м/с, что на 47% ниже минимального показателя прочей древесины. На высоте груди область распространения ядровой гнили имеет менее четкие границы, однако занимает большую область, скорость прохождения импульса в ней имеет среднее значение 463 м/с, что на 53% ниже минимального показателя прочей древесины. Исходя из полученных данных можно предположить, что ядровая гниль распространяется от уровня груди вниз по стволу. С учетом положения деструкции, площади,

занимаемой ею, и степени ее развития программный комплекс Arbotom® рассчитывает вероятность изгиба ствола дерева и его приоритетное направление без учета фактора кроны (рисунок 4.3). Исходя из данных актуального момента сопротивления вероятность изгиба ствола данного модельного дерева на данном этапе составляет 29-34% с приоритетным направлением на север или северо-северо-запад. Такое дерево можно признать потенциально аварийно-опасным.

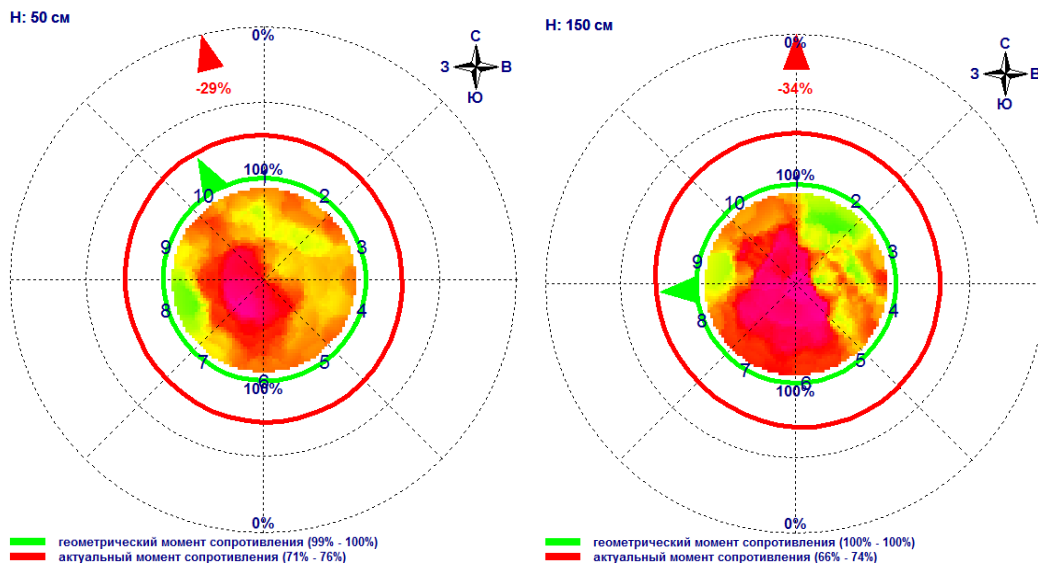


Рисунок 4.3 – Актуальный момент сопротивления модельного дерева №1 на высоте 50 см (слева) и 150 см (справа)

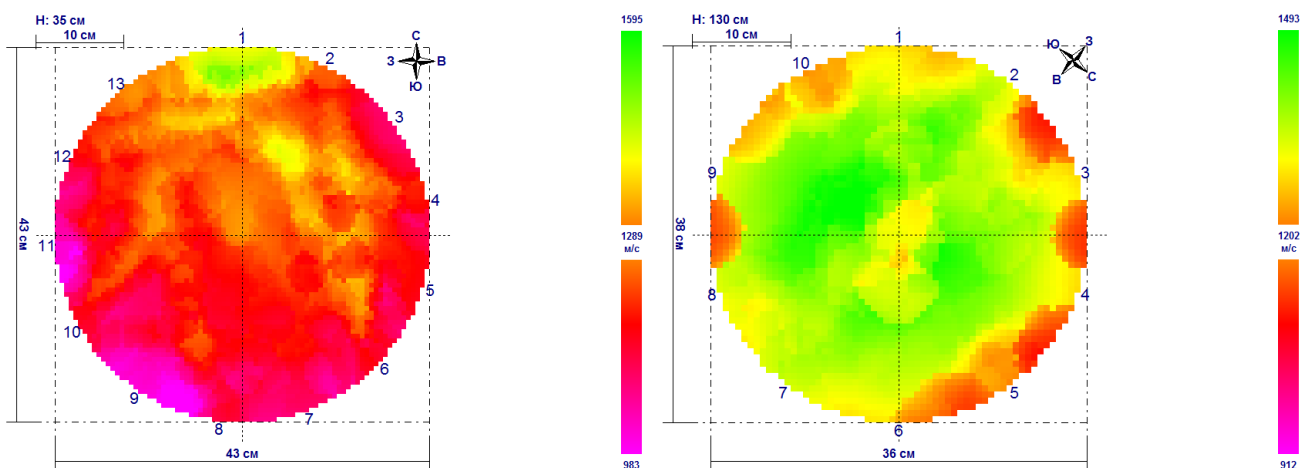


Рисунок 4.4 – Томограммы модельного дерева №11 на высоте 35 см (слева) и 130 см (справа)

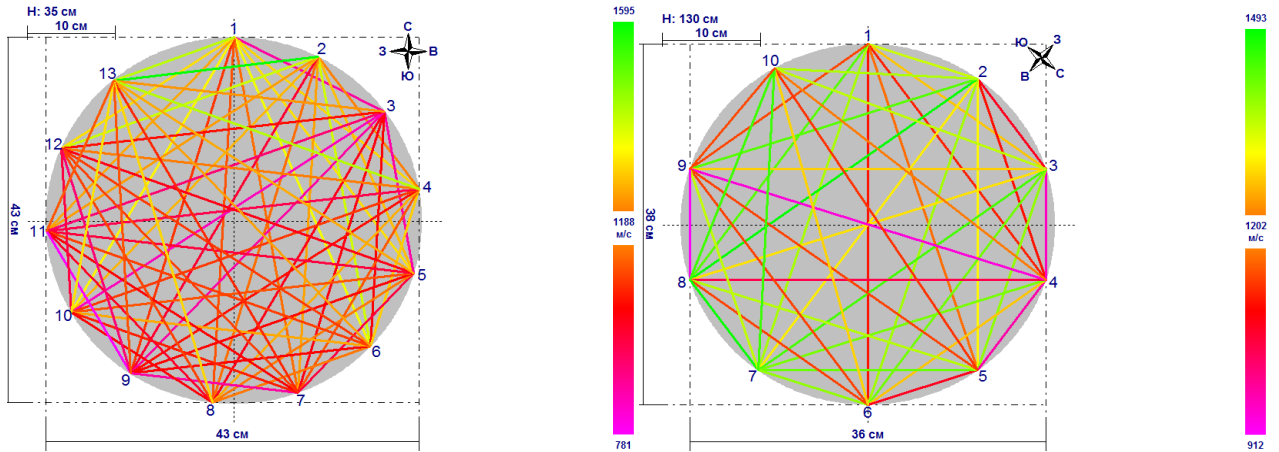


Рисунок 4.5 – Линейные графики импульса модельного дерева №11 на высоте 35 см (слева) и 130 см (справа)

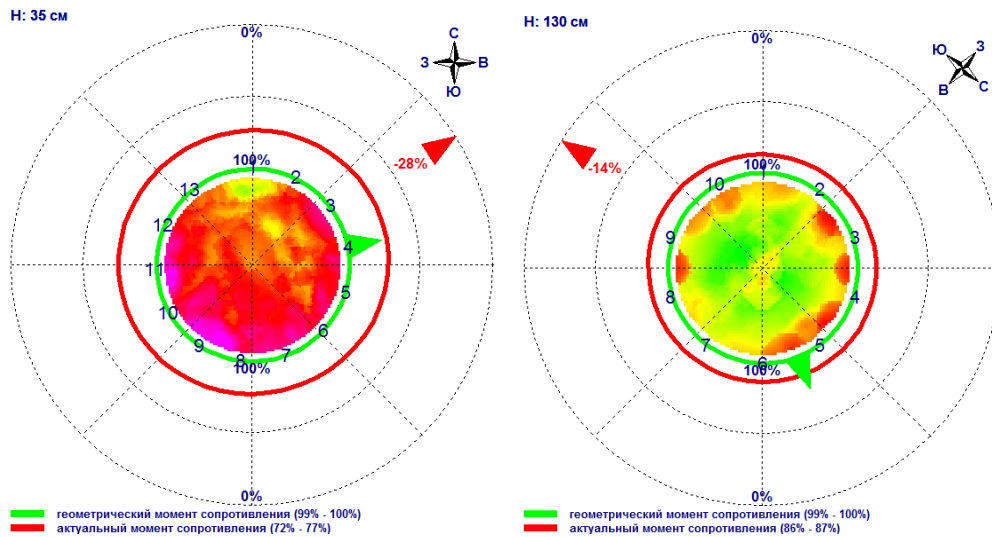


Рисунок 4.6 – Фактический момент сопротивления модельного дерева №11 на высоте 35 см (слева) и 130 см (справа)

На рисунках 4.4-4.6 представлено модельное дерево с достаточно однородной внутренней структурой ствола.

Заметные понижения прочностных характеристик можно выделить только по периферии ствола, что может являться естественным явлением или признаком ранней деструкции поверхностных слоев древесины. Согласно таблицам 4.4-4.5 среднее значение на высоте 35 см составляет 872,61 м/с; на высоте 130 см – 962,77 м/с. Зона пониженной плотности на высоте шейки корня имеет скорость

прохождения импульса 781 м/с, что на 34% ниже минимального показателя прочей древесины.

Таблица 4.4 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №11 на высоте 35 см, м/с

№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1			608	909	955	1115	984	1106	969	1051	891	908	
2				787	860	1057	944	1074	971	1089	964	1025	984
3	486				470	642	643	760	725	802	730	744	693
4	924	821				877	774	952	889	1022	943	1034	1045
5	993	906	603				681	853	811	951	908	998	1032
6	1108	1032	759	831				814	761	947	920	1017	1070
7	1074	1022	796	827	681				608	782	807	933	1000
8	1097	1061	856	952	827	810				696	714	860	967
9	962	964	809	867	764	755	542				517	672	792
10	977	992	828	914	820	864	659	722				630	778
11	914	974	815	933	862	933	751	729	539				709
12	881	1008	852	999	945	1025	852	864	669	679			
13		1124	901	1121	1078	1188	1005	1069	877	933	790		

Таблица 4.5 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №11 на высоте 130 см, м/с

№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1			825	873	1026	1120	1101	1104	825	
2				796	1000	1187	1213	1293	1104	946
3	894				985	1088	1146	1277	1094	999
4	756	619				894	815	908	866	833
5	1029	969	857				909	1048	1001	1034
6	851	837	767	622				715	754	809
7	1183	1286	1248	1084	1007				959	1093
8	837	959	974	880	805	822				742
9	788	966	995	939	924	893	802			
10		959	1027	1016	1115	1121	1140	1041		

На высоте груди области пониженной плотности имеют скорость прохождения импульса 912 м/с, что на 24% ниже минимального показателя прочей древесины. Согласно данным актуального момента сопротивления вероятность изгиба ствола данного модельного дерева составляет 28% в северо-восточном направлении (на высоте шейки корня) и 14% в юго-юго-восточном (на

высоте груди). С учетом расположения деструкций такое дерево можно признать условно безопасным, однако рекомендовать его регулярное обследование.

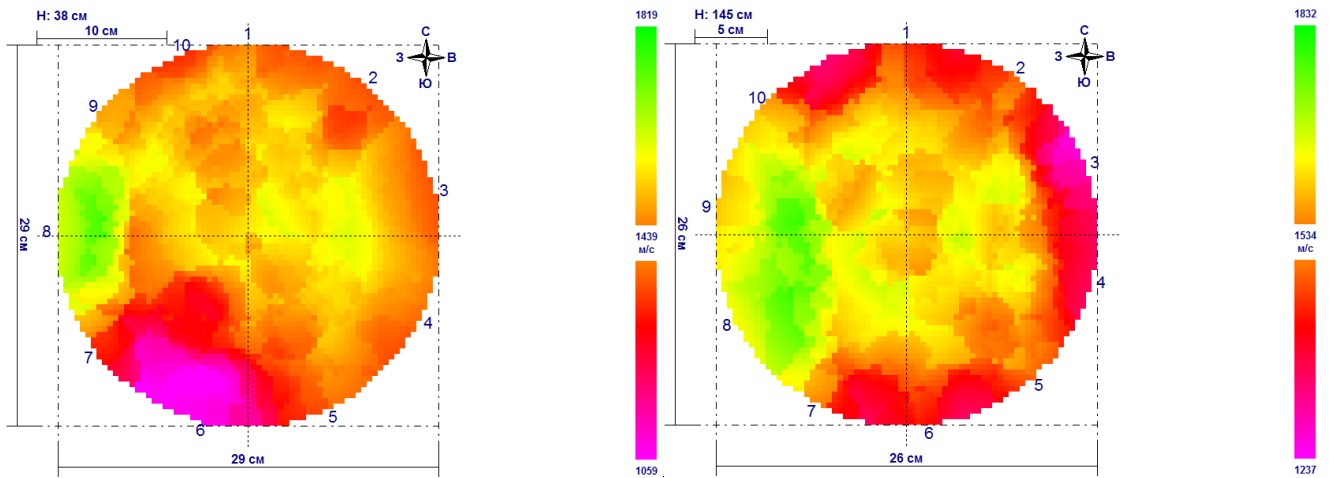


Рисунок 4.7 – Томограммы модельного дерева №23 на высоте 38 см (слева) и 145 см (справа)

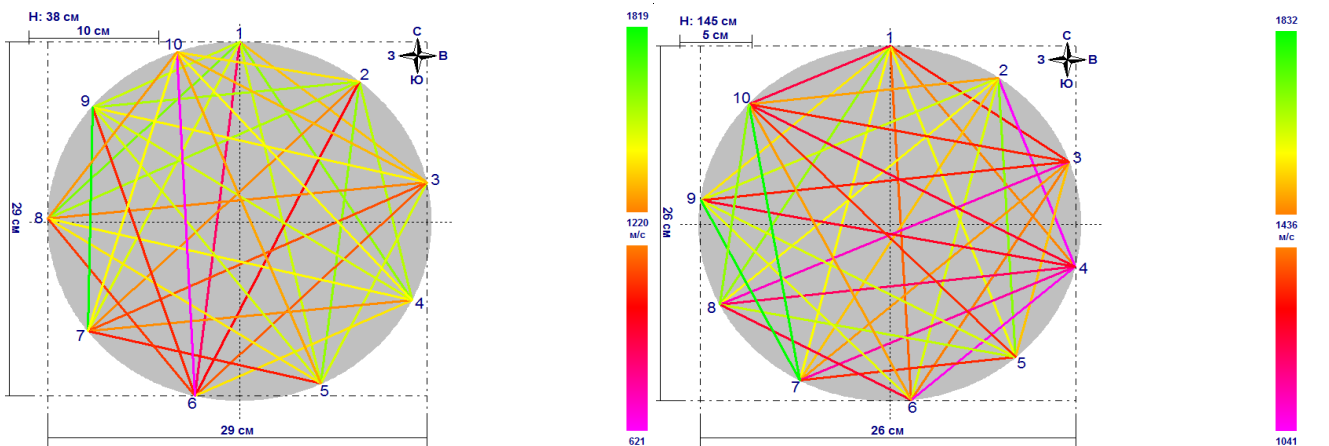


Рисунок 4.8 – Линейные графики импульса модельного дерева №23 на высоте 38 см (слева) и 145 см (справа)

На рисунках 4.7-4.9 представлено модельное дерево со слабо дифференцируемой ядровой деструкцией начальной стадии на всех исследованных высотах и развитой зоной деструкции заболонного участка древесины на высоте шейки корня.

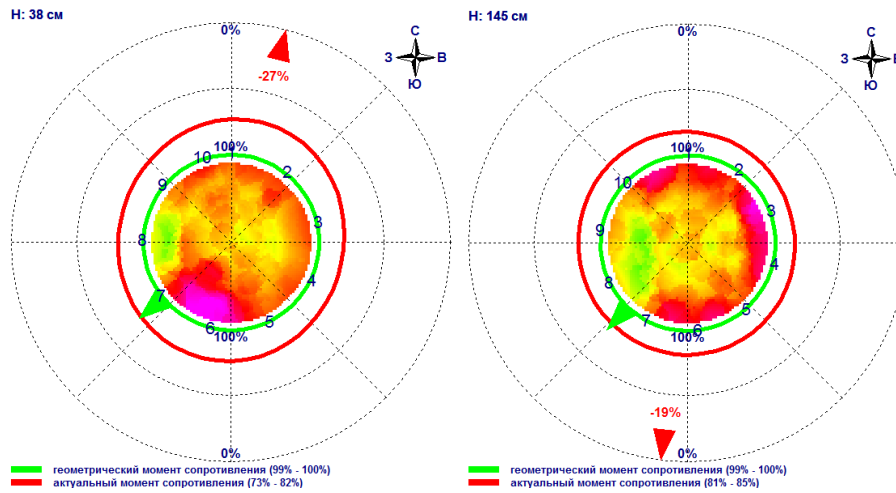


Рисунок 4.9 – Актуальный момент сопротивления модельного дерева №23 на высоте 38 см (слева) и 145 см (справа)

Таблица 4.6 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №23 на высоте 38 см, м/с

№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1			949	1127	1344	817	1203	1193	1032	
2				788	1196	852	1153	1266	1140	860
3	916				964	891	996	1157	1151	896
4	1256	1102				990	978	1273	1400	1191
5	1356	1256	1064				756	1097	1338	1202
6	746	906	917	841				795	849	529
7	1203	1167	1028	863	759				1304	1039
8	837	953	948	894	826	623				890
9	946	1134	1136	1153	1235	800	1242			
10		958	979	1109	1247	543	1096	259		

Таблица 4.7 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №23 на высоте 145 см, м/с

№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1			934	964	1243	1367	1328	1326	1030	
2				709	1225	1366	1465	1400	1281	1068
3	763				783	922	1057	1072	1029	916
4	1102	737				745	868	1026	922	1029
5	1344	1294	1067				952	1247	1224	1312
6	1325	1189	1096	748				885	1132	919
7	1400	1418	1243	868	946				1297	1398
8	931	1001	949	880	926	890				1194
9	1123	1266	1186	1233	1366	1218	254			
10		1036	1058	1124	1256	1249	1164	1148		

Согласно таблицам 4.6-4.7 среднее значение на высоте 38 см составляет 1012,91 м/с; на высоте 145 см – 1091,90 м/с. Зона пониженной плотности на высоте шейки корня имеет скорость прохождения импульса 621 м/с, что на 49% ниже минимального показателя прочей древесины. На высоте груди области пониженной плотности имеют скорость прохождения импульса 1041 м/с, что на 27% ниже минимального показателя прочей древесины. Согласно данным актуального момента сопротивления вероятность изгиба ствола данного модельного дерева составляет 27% в северо-восточном направлении (на высоте шейки корня) и 19% в юго-западном (на высоте груди). С учетом расположения деструкций такое дерево можно признать условно безопасным, однако рекомендовать его регулярное обследование.

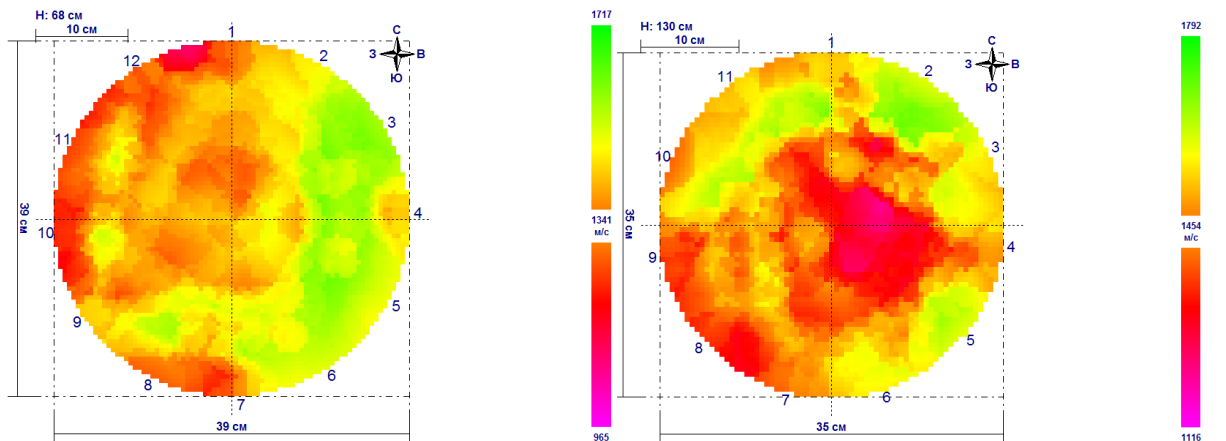


Рисунок 4.10 – Томограммы модельного дерева №36 на высоте 68 см (слева) и 130 см (справа)

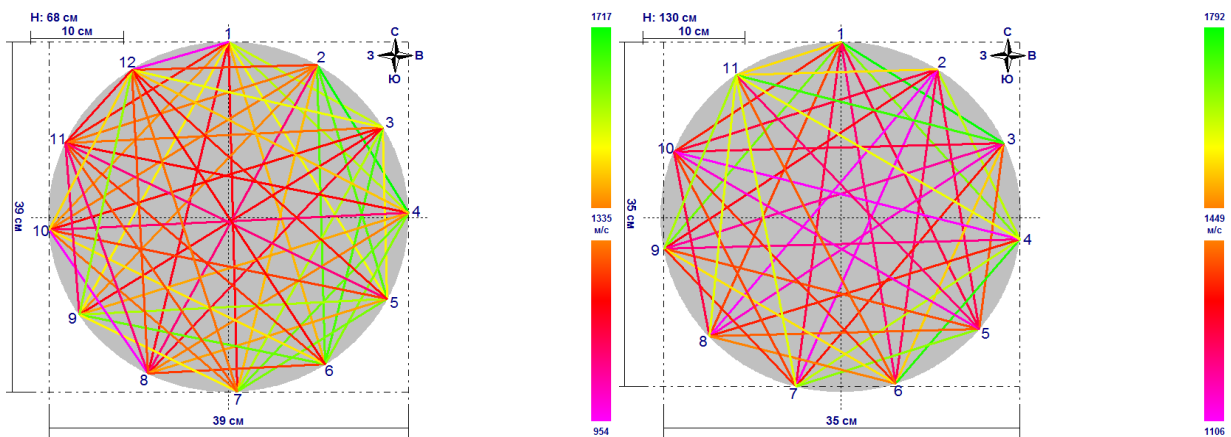


Рисунок 4.11 – Линейные графики импульса модельного дерева №36 на высоте 68 см (слева) и 130 см (справа)

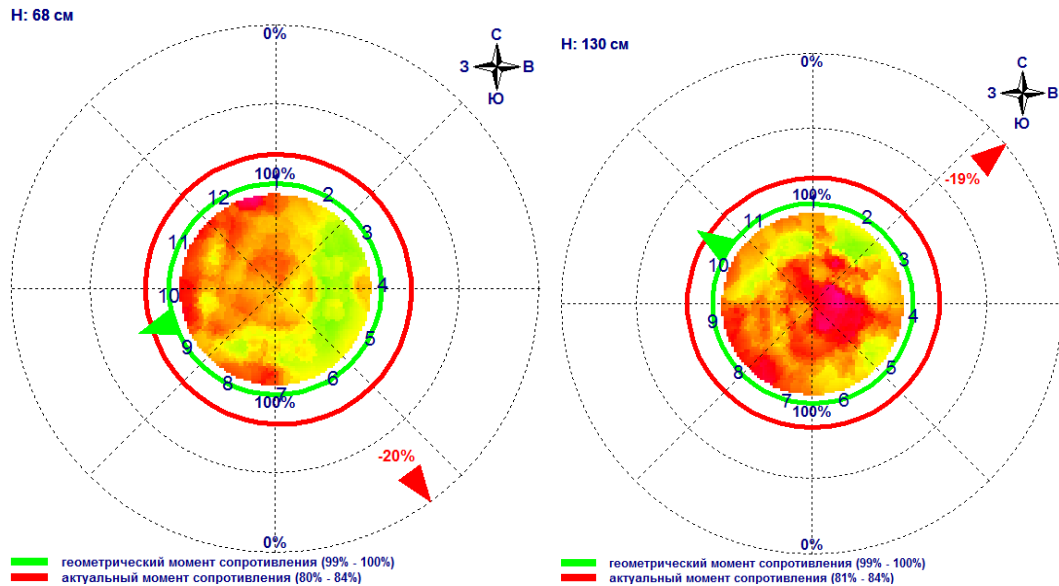


Рисунок 4.12 – Актуальный момент сопротивления модельного дерева №36 на высоте 68 см (слева) и 130 см (справа)

На рисунках 4.10-4.12 представлено модельное дерево со слабо дифференцируемой ядровой деструкцией начальной стадии, получившей более заметное развитие на высоте груди.

Таблица 4.8 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №36 на высоте 68 см, м/с

№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			1139	1080	1185	1215	1152	1086	1199	1040	902	
2				1226	1238	1359	1215	1106	1243	1124	1056	862
3	976				1093	1267	1164	1084	1240	1142	1146	1061
4	1189	1166				1173	1194	1125	1318	1149	1159	1123
5	1160	1168	933				1081	1038	1276	1126	1100	1049
6	1223	1242	1158	1034				894	1226	1156	1133	1173
7	1206	1235	1285	1178	1145				1057	996	1060	1152
8	1033	1044	979	1000	978	869				651	807	960
9	1150	1163	1122	1093	1185	1153	971				784	1026
10	976	1026	1035	1019	1100	1132	938	678				917
11	821	925	991	1000	1038	1068	988	797	756			
12		909	1131	1130	1124	1237	1192	1097	1300	1081		



Таблица 4.9 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №36 на высоте 130 см, м/с

№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1			1334	1211	1015	1112	1145	1161	1445	947	
2				1053	893	966	962	976	1145	909	1041
3	1177				869	1012	993	967	1106	997	1246
4	1307	1223				1223	1174	1088	1175	1025	1344
5	1084	1008	1102				1199	1036	1167	989	1200
6	1171	1103	1269	1247				1013	1195	1107	1358
7	1243	1108	1226	1257	1135				1065	1048	1373
8	1157	1102	1167	1151	1091	1019				861	1251
9	1114	1048	1138	1071	1142	1114	850				1083
10	965	1033	1133	1059	1130	1151	1040	924			
11		1124	1386	1281	1123	1269	1245	1129	1215		

Согласно таблицам 4.8-4.9 среднее значение на высоте 68 см составляет 1083,83 м/с; на высоте 145 см – 1119,43 м/с. Зона пониженной плотности на высоте шейки корня имеет скорость прохождения импульса 954 м/с, что на 29% ниже минимального показателя основной части древесины ствола. На высоте груди области пониженной плотности имеют скорость прохождения импульса 1106 м/с, что на 23% ниже минимального показателя прочей древесины. Согласно данным актуального момента сопротивления вероятность изгиба ствола данного модельного дерева составляет 20% в юго-восточном направлении (на высоте шейки корня) и 19% в северо-восточном (на высоте груди). Такое дерево можно оценить как потенциально аварийно-опасное.

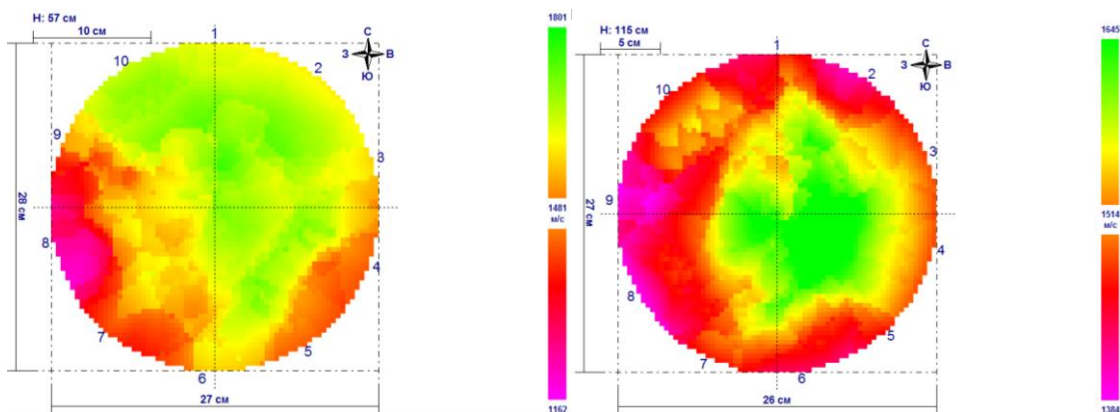


Рисунок 4.13 – Томограммы модельного дерева №42 на высоте 57 см (слева) и 115 см (справа)

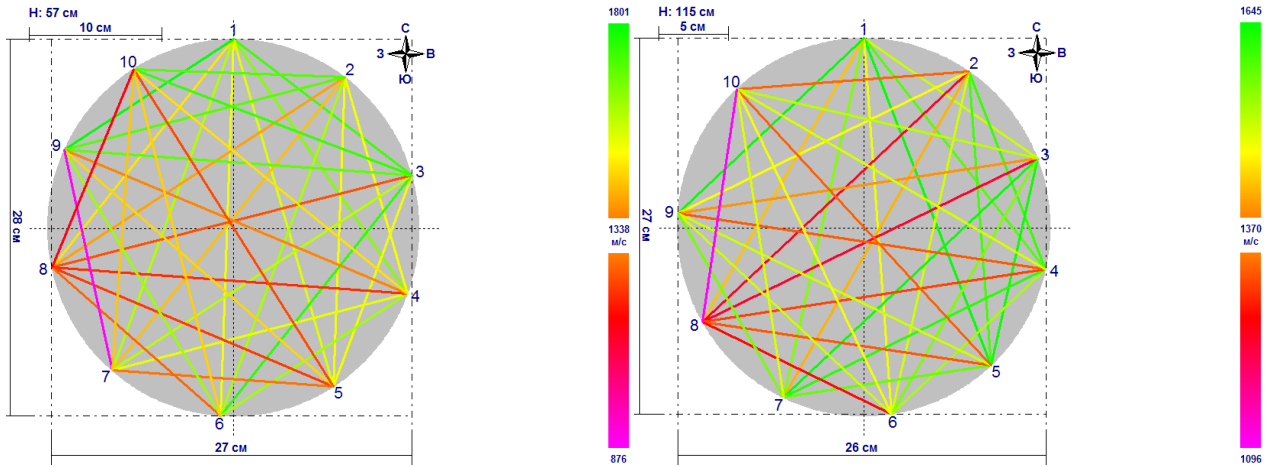


Рисунок 4.14 – Линейные графики импульса модельного дерева №42 на высоте 57 см (слева) и 115 см (справа)

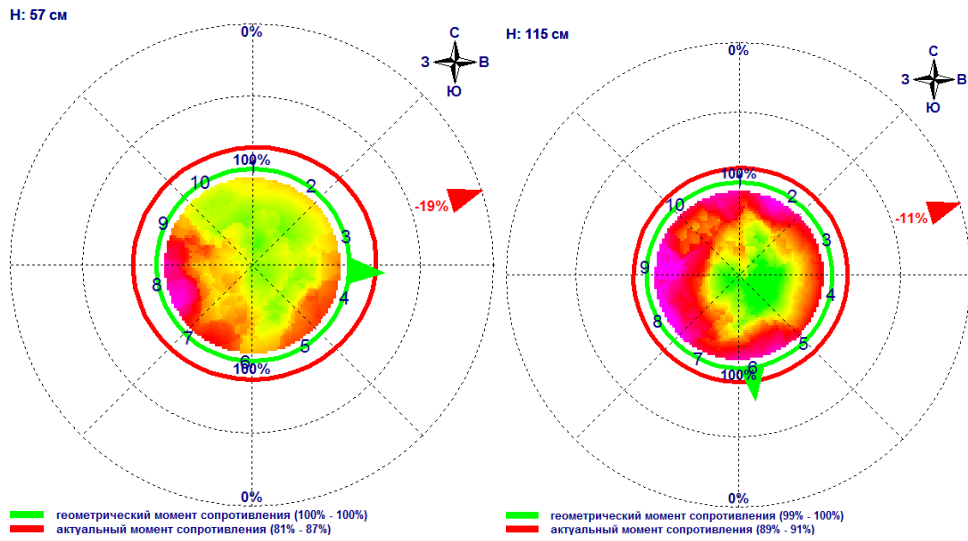


Рисунок 4.15 – Актуальный момент сопротивления модельного дерева №42 на высоте 57 см (слева) и 115 см (справа)

Таблица 4.10 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №42 на высоте 57 см, м/с

№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1			1142	1162	1250	1414	1250	1049	1283	
2				1024	1139	1385	1327	1156	1355	1109
3	1322				1069	1330	1311	1239	1562	1289
4	1394	1127				1191	1168	1079	1466	1266
5	1437	1205	1090				893	959	1364	1267
6	1555	1415	1394	1104				848	1285	1236
7	1450	1458	1453	1198	999				264	1099
8	1179	1193	1278	1093	992	1017				815
9	1252	1232	1319	1176	1169	1224	987			
10		1309	1384	1254	1279	1248	1094	832		

Таблица 4.11 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №42 на высоте 115 см, м/с

№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1			1068	1142	1202	1403	1330	1103	1246	
2				1084	1168	1296	1360	1133	1316	992
3	1053				991	1215	1360	1206	1317	1175
4	1275	1186				1186	1307	1163	1481	1396
5	1575	1267	1321				1245	1112	1456	1477
6	1434	1232	1155	972				907	1208	1304
7	1464	1353	1414	1155	978				1186	1188
8	1164	1128	1196	1077	929	907				700
9	1158	1025	1174	1106	1077	1072	1018			
10		947	1181	1200	1215	1259	1133	873		

На рисунках 4.13-4.15 представлено модельное дерево с признаками развитой деструкции поверхностных слоев заболони. Согласно таблицам 4.10-4.11 среднее значение на высоте 57 см составляет 1202,24 м/с; на высоте 115 см – 1187,09 м/с. Зона пониженной плотности на высоте шейки корня имеет скорость прохождения импульса 876 м/с, что на 34% ниже минимального показателя прочей древесины. На высоте груди области пониженной плотности имеют скорость прохождения импульса 1096 м/с, что на 20% ниже минимального показателя прочей древесины.

Согласно данным актуального момента сопротивления вероятность изгиба ствола данного модельного дерева составляет 19% в востоко-северо-восточном направлении (на высоте шейки корня) и 11% в востоко-северо-восточном (на высоте груди). С учетом направления нагрузок по всей длине ствола и значительной деструкции на уровне груди такое дерево можно оценить как потенциально аварийно-опасное.

На рисунках 4.16-4.18 представлено модельное дерево с признаками развивающейся деструкции поверхностных слоев заболони, постепенно проникающих в ядровые участки древесины.

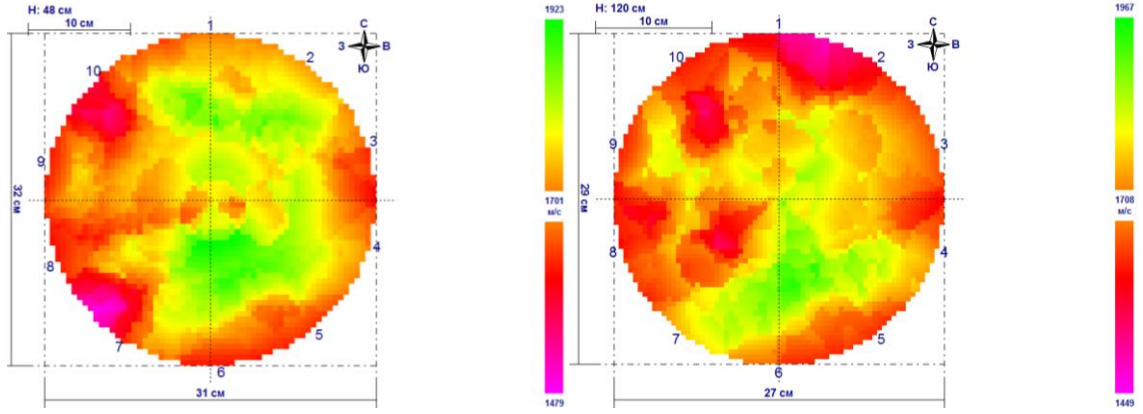


Рисунок 4.16 – Томограммы модельного дерева №55 на высоте 48 см (слева) и 120 см (справа)

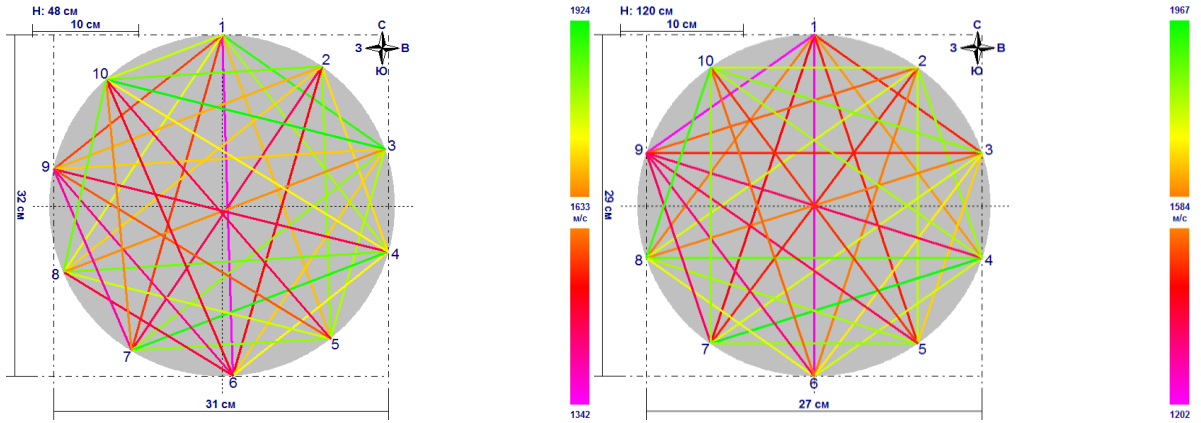


Рисунок 4.17 – Линейные графики импульса модельного дерева №55 на высоте 48 см (слева) и 120 см (справа)

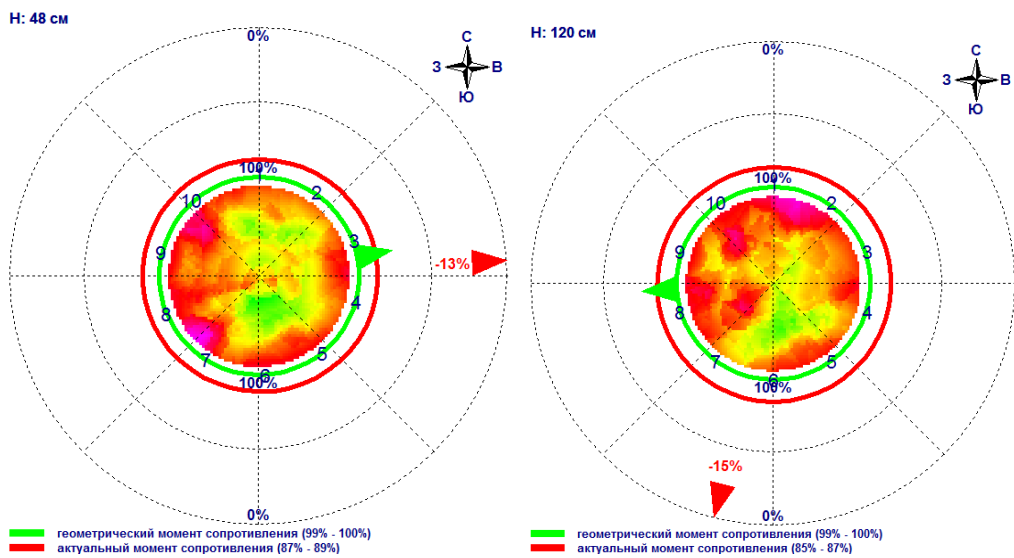


Рисунок 4.18 – Фактический момент сопротивления модельного дерева №55 на высоте 48 см (слева) и 120 см (справа)

Согласно таблицам 4.12-4.13 среднее значение на высоте 48 см составляет 1353,32 м/с; на высоте 120 см – 1314,44 м/с. Зона пониженной плотности на высоте шейки корня имеет скорость прохождения импульса 1342 м/с, что на 18% ниже минимального показателя прочей древесины. На высоте груди области пониженной плотности имеют скорость прохождения импульса 1202 м/с, что на 24% ниже минимального показателя прочей древесины. Согласно данным актуального момента сопротивления вероятность изгиба ствола данного модельного дерева составляет 17% в юго-западном направлении (на высоте шейки корня) и 15% в юго-юго-западном (на высоте груди). С учетом незначительности деструкции такое дерево можно оценить как условно-здоровое.

Таблица 4.12 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №55 на высоте 48 см, м/с

№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1			1294	1393	1438	1309	1459	1374	1150	
2				1117	1283	1215	1430	1400	1230	1241
3	1390				1369	1322	1664	1639	1516	1574
4	1371	1303				1158	1506	1508	1411	1487
5	1444	1506	1180				1369	1393	1386	1502
6	1335	1411	1283	1294				1060	1107	1331
7	1312	1468	1451	1424	1210				938	1228
8	1367	1585	1599	1646	1329	1060				1379
9	1131	1388	1459	1509	1361	1093	1060			
10		1404	1440	1546	1411	1260	1289	1234		

Таблица 4.13 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №55 на высоте 120 см, м/с

№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1			951	1083	1117	1110	1154	1030	817	
2				1229	1309	1336	1477	1412	1153	1276
3	1161				1079	1332	1566	1492	1227	1440
4	1405	1358				1285	1609	1548	1320	1641
5	1449	1449	1295				1415	1413	1279	1656
6	1358	1404	1288	1220				1229	1078	1412
7	1356	1484	1465	1431	1178				951	1371
8	1413	1622	1675	1692	1380	1238				1531
9	896	1246	1336	1397	1117	982	985			
10		1257	1396	1473	1351	1291	1449	1186		

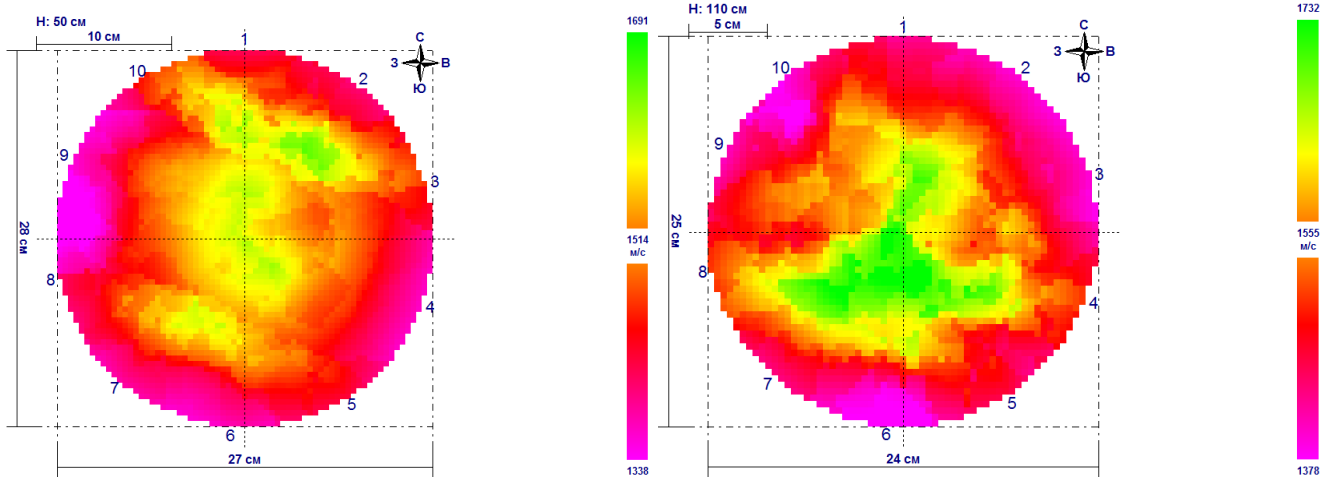


Рисунок 4.19 – Томограммы модельного дерева №68 на высоте 50 см (слева) и 110 см (справа)

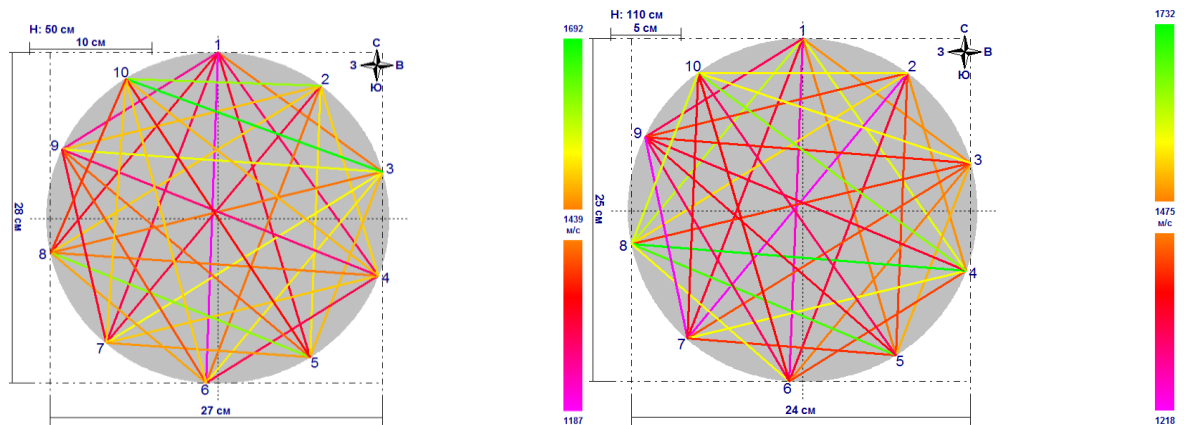


Рисунок 4.20 – Линейные графики импульса модельного дерева №68 на высоте 50 см (слева) и 110 см (справа)

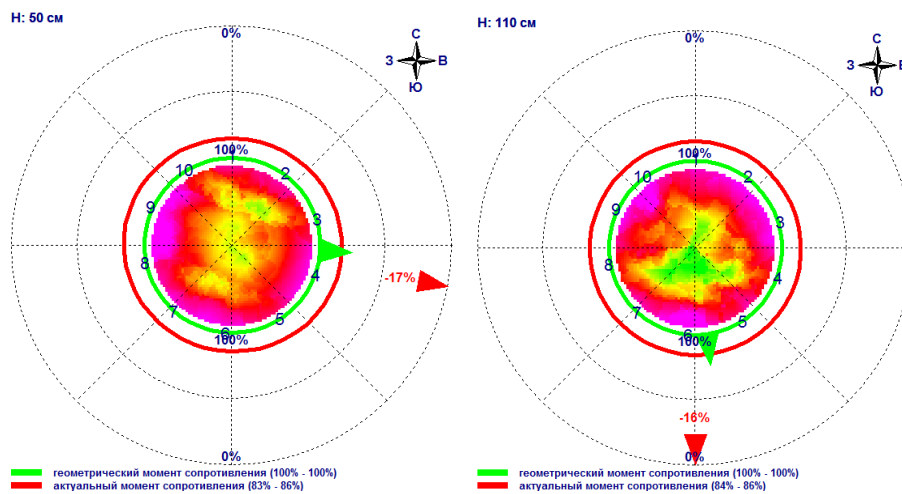


Рисунок 4.21 – Актуальный момент сопротивления модельного дерева №68 на высоте 50 см (слева) и 110 см (справа)

Таблица 4.14 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №68 на высоте 50 см, м/с

№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1			844	983	1014	1025	1046	987	793	
2				1191	1101	1169	1327	1353	1142	1125
3	1199				999	1117	1371	1497	1319	1335
4	1027	943				799	1085	1227	1157	1187
5	1317	1244	1112				1112	1378	1331	1451
6	1308	1337	1237	1069				1199	1162	1377
7	1177	1261	1298	1230	965				888	1116
8	1049	1188	1314	1286	1112	888				934
9	977	1113	1293	1352	1154	1027	1011			
10		1133	1267	1363	1262	1197	1174	1031		

Таблица 4.15 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №68 на высоте 110 см, м/с

№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1			1015	1195	1169	1181	1203	1274	891	
2				1050	1059	1192	1240	1342	986	1050
3	1105				1073	1216	1371	1531	1167	1231
4	1261	1073				975	1344	1569	1266	1445
5	1411	1168	1081				1121	1429	1192	1363
6	1266	1186	1075	1073				1147	1022	1190
7	1105	1149	1158	1093	909				738	981
8	1159	1276	1259	1472	1195	1089				1013
9	983	1180	1222	1394	1217	1043	1001			
10		1174	1195	1437	1240	1167	1112	1217		

На рисунках 4.19-4.21 представлено модельное дерево с признаками деструкции поверхностных слоев заболони.

Согласно таблицам 4.14-4.15 среднее значение на высоте 50 см составляет 1157,94 м/с; на высоте 110 см – 1176,8 м/с. Зона пониженной плотности на высоте шейки корня имеет скорость прохождения импульса 1187 м/с, что на 18% ниже минимального показателя прочей древесины. На высоте груди области пониженной плотности имеют скорость прохождения импульса 1218 м/с, что на 17% ниже минимального показателя прочей древесины. Согласно данным актуального момента сопротивления вероятность изгиба ствола данного модельного дерева составляет 17% в восточном направлении (на высоте шейки

корня) и 16% в южном (на высоте груди). С учетом значительной площади деструкции на высоте шейки корня такое дерево можно оценить как потенциально аварийно-опасное.

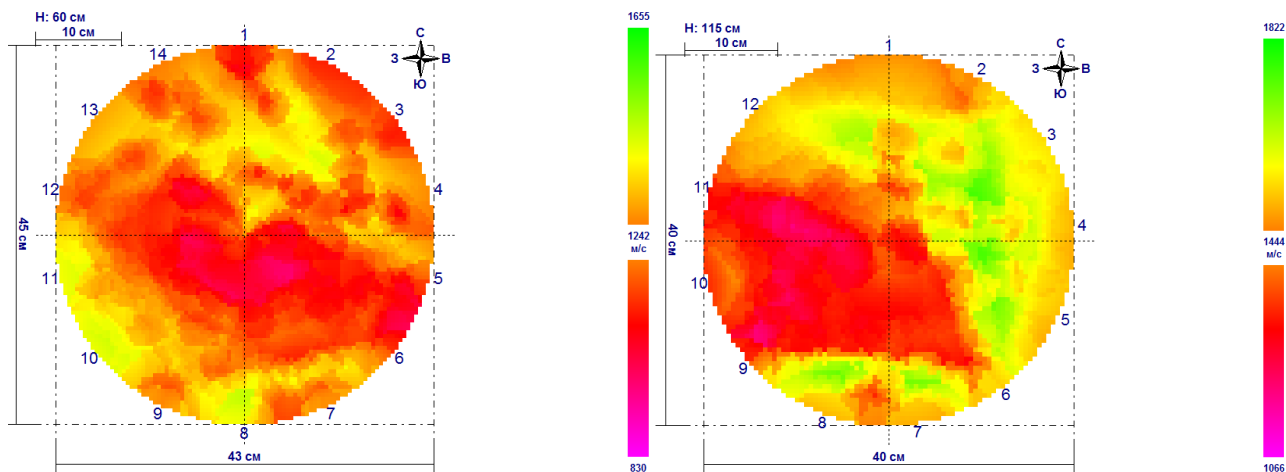


Рисунок 4.22 – Томограммы модельного дерева №71 на высоте 60 см (слева) и 115 см (справа)

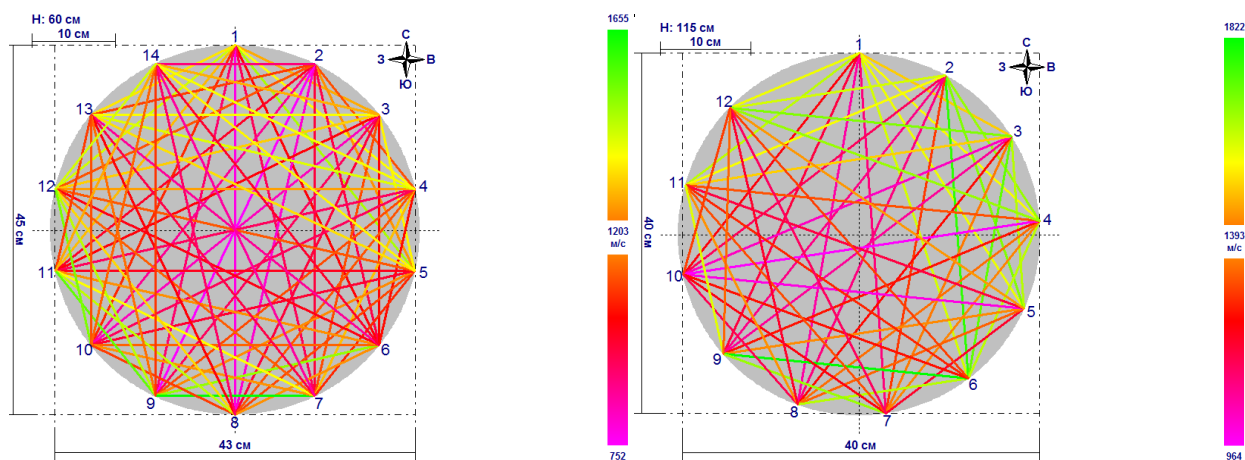


Рисунок 4.23 – Линейные графики импульса модельного дерева №71 на высоте 60 см (слева) и 115 см (справа)

На рисунках 4.22-4.24 представлено модельное дерево с признаками развитой ядровой деструкции. Согласно таблицам 4.16-4.17 среднее значение на высоте 60 см составляет 909,16 м/с; на высоте 115 см – 1090,89 м/с.



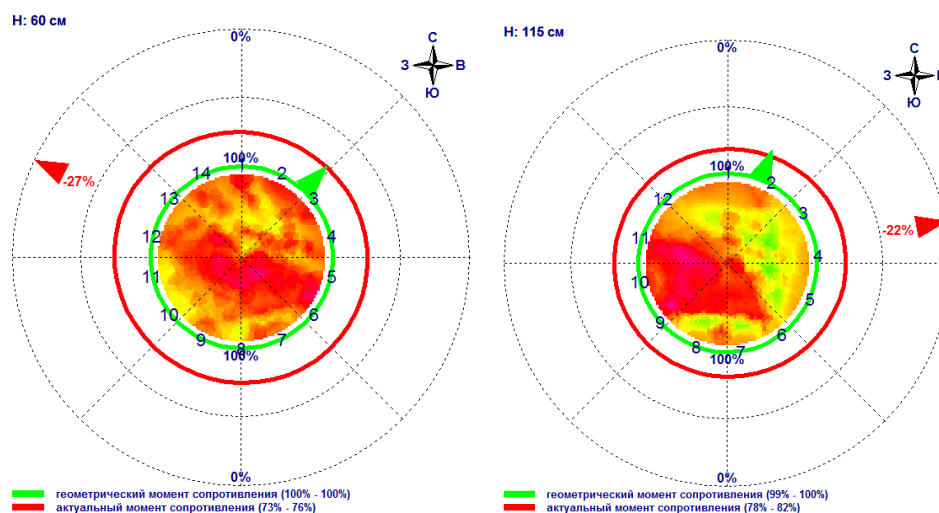


Рисунок 4.24 – Актуальный момент сопротивления модельного дерева №71 на высоте 60 см (слева) и 115 см (справа)

Таблица 4.16 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №71 на высоте 60 см, м/с

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1			957	985	1165	1016	900	775	832	961	1037	1081	952	
2				749	896	824	797	691	731	773	824	862	787	608
3	773				948	896	873	781	840	864	961	1082	1031	885
4	965	833				934	942	871	938	898	984	1159	1157	1040
5	1053	866	904				789	780	893	849	934	1188	1190	1097
6	703	652	616	533				630	812	826	884	821	751	803
7	808	818	869	896	727				1131	945	1025	936	860	841
8	793	764	835	882	852	1057				904	1116	1037	867	834
9	834	774	860	938	962	1317	1151				1151	1081	910	898
10	847	811	797	805	786	955	817	647				1186	757	824
11	905	830	919	904	903	1125	1040	939	972				732	858
12	945	891	1048	1075	1123	1032	975	960	982	895				1028
13	875	829	1043	1131	1181	999	881	849	891	891	819			
14		645	926	1040	1112	999	889	845	934	960	945	908		

Зона пониженной плотности на высоте шейки корня имеет скорость прохождения импульса 752 м/с, что на 37% ниже минимального показателя прочей древесины. На высоте груди области пониженной плотности имеют скорость прохождения импульса 964 м/с, что на 30% ниже минимального показателя прочей древесины. Согласно данным актуального момента сопротивления вероятность изгиба ствола данного модельного дерева составляет

27% в западо-северо-западном направлении (на высоте шейки корня) и 22% в восточном (на высоте груди). С учетом значительной площади деструкции и степени ее развития такое дерево можно оценить как потенциально аварийно-опасное.

Таблица 4.17 – Матрица значений скорости импульса модельного дерева №71 на высоте 115 см, м/с

№ датчика	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1			1084	1091	1248	1398	1096	983	993	971	1101	
2				1048	1223	1386	1135	1052	1018	960	1096	1159
3	969				1149	1293	1108	1068	1044	966	1153	1307
4	1166	1246				1199	1083	1094	1145	968	1219	1439
5	1199	1229	1096				853	967	1090	866	1087	1299
6	1334	1398	1212	1037				1090	1331	1018	1062	1282
7	1047	1128	1070	961	816				1135	909	991	977
8	978	1081	1099	1063	1018	1156				845	1003	957
9	960	1005	1036	1044	1116	1331	1156				994	999
10	917	942	934	891	849	971	894	764				880
11	1199	1254	1301	1246	1180	1163	1108	1061	1184			
12		1106	1249	1301	1312	1262	995	928	992	950		

Согласно полученным результатам области сечения ствола, на которых возможно развитие деструктивных процессов, можно выделить на 97,5% исследованных образцов.

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. Гистограммы распределения значений доли нарушенной древесины приведены на рисунках 4.25 и 4.26.

Полученные максимальные диапазоны распределения полностью соответствуют диапазонам наибольшей встречаемости показателей фоновой точки. Однако по результатам измерения на площади №8 отсутствуют образцы с нарушением более 30% сечения ствола.

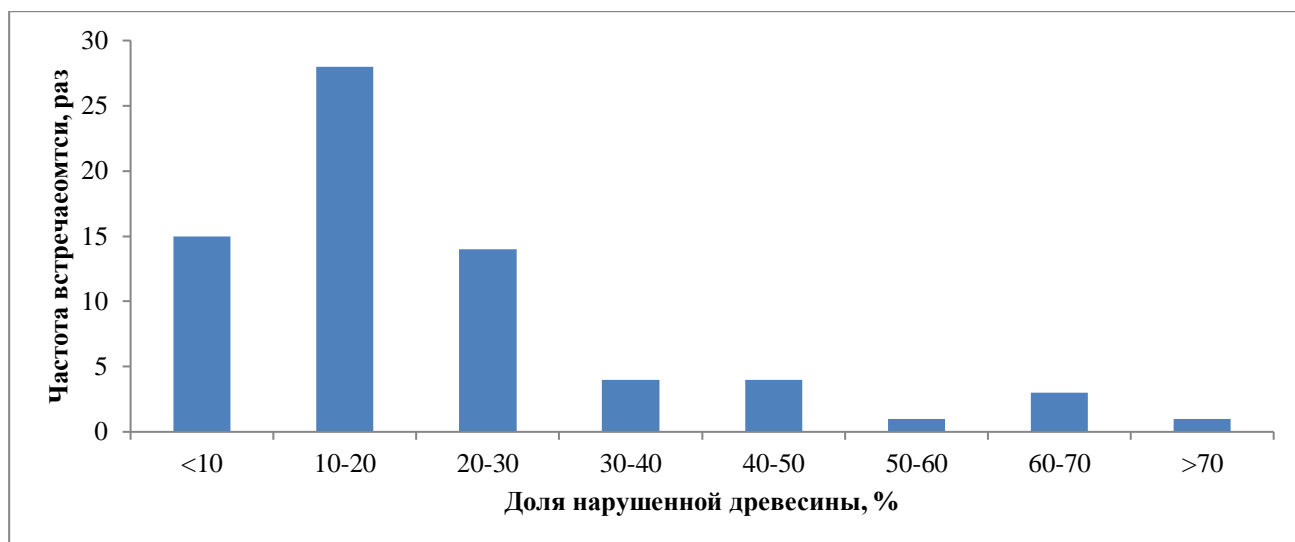


Рисунок 4.25 – График частоты встречаемости уровня деструкции древесины у шейки корня по пробным площадям №1-7

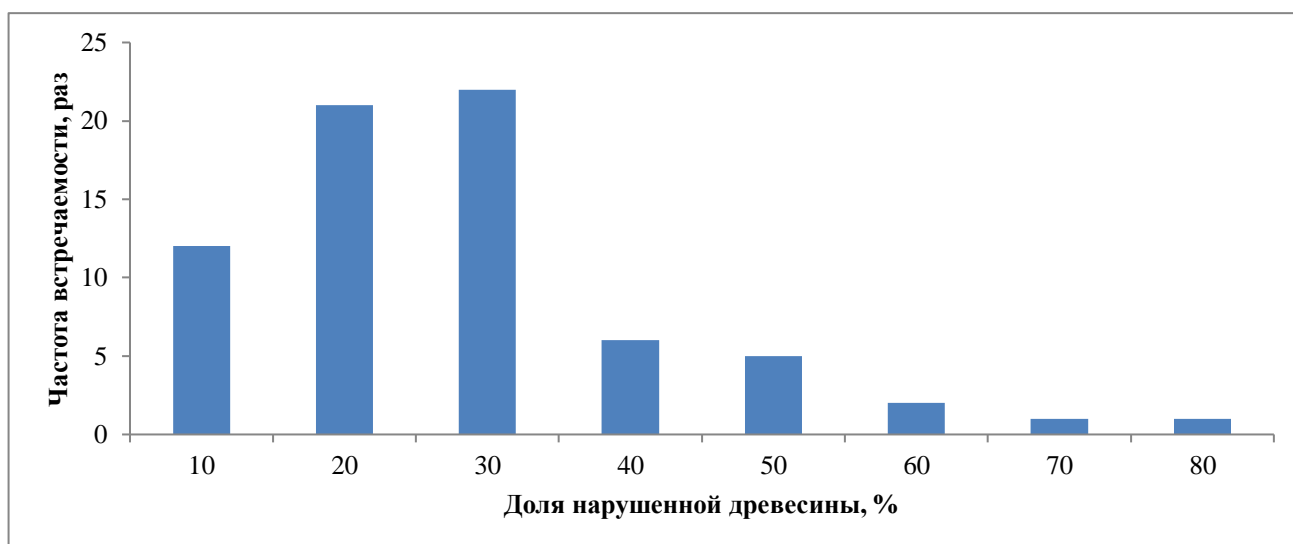


Рисунок 4.26 – График частоты встречаемости уровня деструкции древесины на высоте груди по пробным площадям №1-7

При анализе распределения средних скоростей импульса по частоте встречаемости было определено, что для модельных деревьев фоновой пробной площади на высоте шейки корня 70% значений приходится на диапазон 1159-1225 м/с; а на высоте груди 50% значений приходится на диапазон 1171-1277 м/с.

Для исследуемых пробных площадей №1-7 значения средней скорости импульса на высоте шейки корня в 75% случаев приходится на диапазон 1006-

1303 м/с; а на высоте груди 48% значений попадает в диапазон 1058-1240 м/с (83% значений распределены по диапазону 967-1331 м/с).

Таким образом, согласно полученным результатам, распределение значений средних скоростей импульса в модельных деревьях исследуемых пробных площадей соответствует такому распределению в модельных деревьях фоновой пробной площади.

Дендрограммы, полученные в результате обработки данных измерений методом иерархической кластеризации, по различным показателям приведены на рисунках 4.27-4.30.

На дендрограммах различными цветами выделены номера модельных деревьев, относящиеся к различным пробным площадям:

	- 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)

Анализируя рисунок 4.27, можно оценить исследованную выборку как разрозненную: достаточно четко выделяются 3 разреженных кластера. Первый кластер объединяет в себе значения большей части деревьев площади №1 и частично деревья площади №2. Третий кластер объединяет смесь основной доли деревьев площади №3 и площади №2 с примесью деревьев площадей №1, 4, 8. Прочие деревья различных площадей высокой селективности не проявляют. При этом показатели модельных деревьев площади №1 между собой также имеют высокую степень разрозненности.

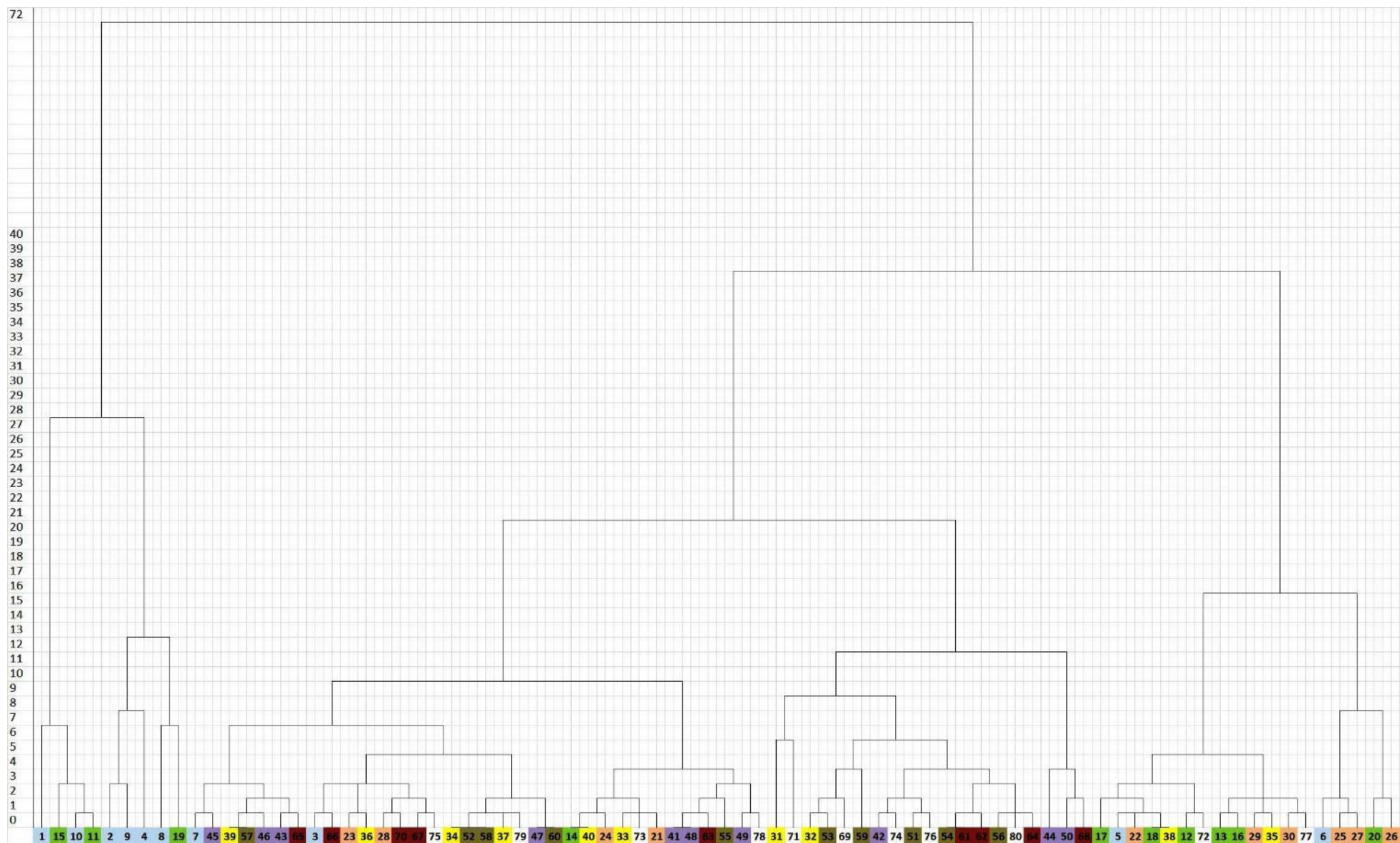


Рисунок 4.27 - Средство модельных деревьев по параметрам содержание деструкций (%) / средняя скорость импульса (м/мин) на высоте шейки корня

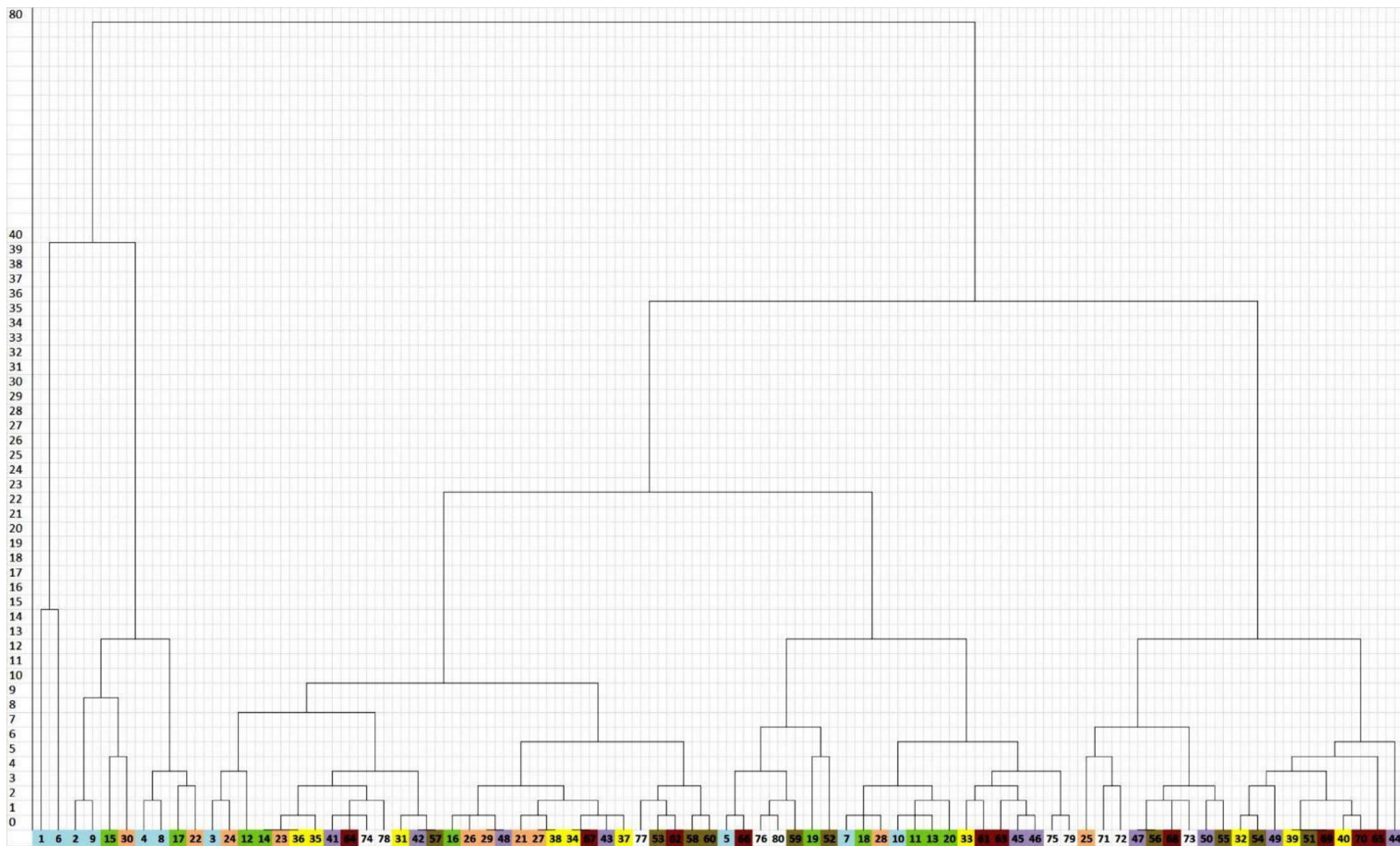


Рисунок 4.28 – Средство модельных деревьев по параметрам содержание деструкций (%) / средняя скорость импульса (м/мин) на высоте груди

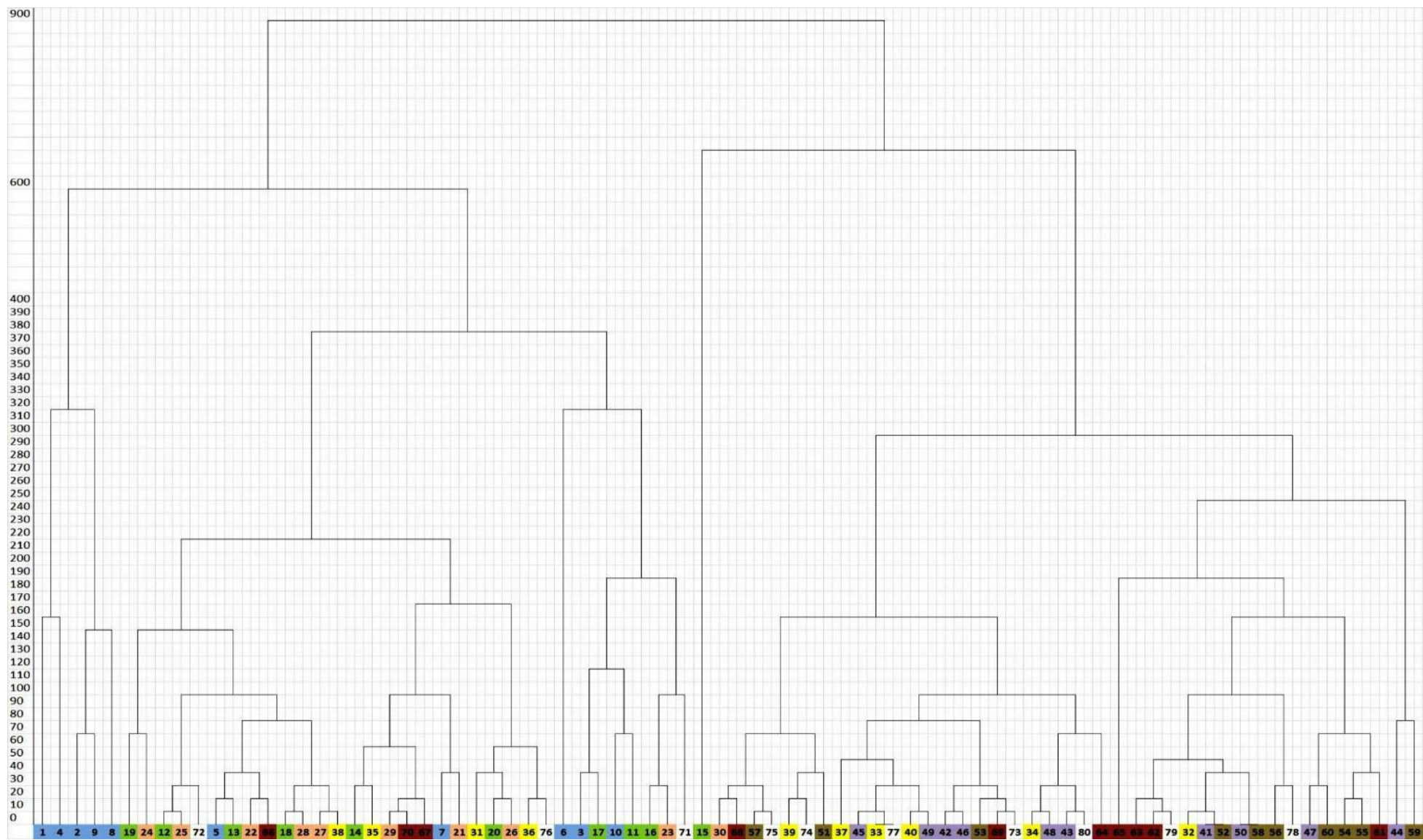


Рисунок 4.29 – Средство модельных деревьев по параметру средняя скорость импульса (м/мин) на высоте груди и высоте шейки корня

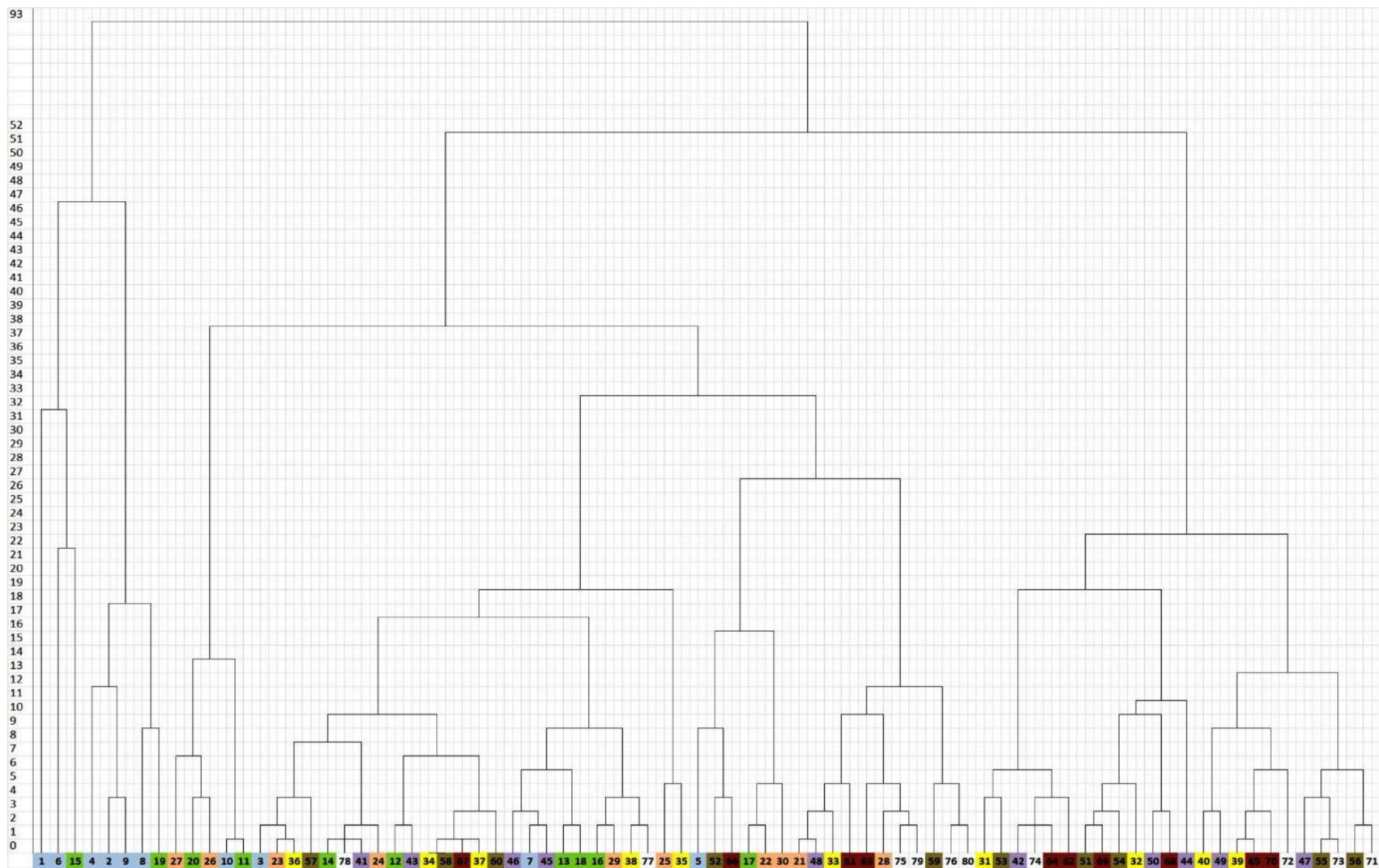


Рисунок 4.30 – Средство модельных деревьев по параметру содержание деструкций (%) на высоте груди и высоте шейки  
корня



Данные полученные по тем же параметрам на высоте груди (рисунок 4.28) характеризуются большей степенью разрозненности. На графике четко выделяются 4 плотных кластера с обособлением отдельных значений по деревьям №1 и 6. В показателях качества древесины на высоте груди наблюдается большая степень смешения между различными площадями, чем на высоте шейки корня. При этом сохраняется высокая степень дифференциации между площадями № 1-3 и площадями 4-8. Проявляется более высокое сродство между площадями № 6, 7 и фоновой площадью №8, чем с прочими площадями.

При анализе сходства в распределении скорости прохождения импульса на высоте шейки корня и высоте груди между различными площадями (рисунок 4.29) можно отметить, что степень разрозненности по данному показателю несколько выше, чем при комплексном анализе «содержание деструкций/средняя скорость импульса». На графике можно выделить 4 разрозненных кластера с обособлением показаний по модельному дереву №15. Данное дерево выделяется нестандартным распределением плотности: крайне низкие значения в прикорневой зоне и крайне высокое значение среднего импульса на высоте груди. С учетом распределения значений импульса по датчикам это может объясняться формированием крена в стволе дерева на фоне ослабления нижней части ствола при большом диаметре (47 см). Таким образом, для данного параметра показания модельного дерева № 15 можно принять в качестве погрешности. В прочих значениях вновь наблюдается крайне высокая обособленность модельных деревьев площади №1, а также высокая степень сродства между показателями площадей 1-3. Также следует отметить более высокое чем для предыдущих выборок сродство площадей №4-8.

Данные модельные деревья имеют значительный разброс параметров как между образцами одной площади, так и различными. При этом не наблюдается селективности по территориальному принципу.

Подобная картина наблюдается и при анализе выборке по распределению деструкций на различных высотах ствола (рисунок 4.30). На графике можно выделить от 2 до 3 относительно плотных кластеров, включающих в себя 86%

выборки, и обособленные группы деревьев площадей №1-3. При этом наблюдается большее сродство образцов площади №3 с образцами площадей №4-8 в сравнении с предыдущими результатами.

Анализируя все данные, полученные в ходе измерений состояния древесины с использованием Arbotom® можно сделать следующие выводы:

1. Практически на всех исследованных образцах (97,5%) можно выделить зоны потенциального развития деструкции, что свидетельствует о более раннем появлении гнилей у деревьев, произрастающих в условиях рекреационной нагрузки и повышенного уровня загрязненности. Таким образом, по степени деструкции древесины можно выделять потенциально опасные деревья, которые не выдержат сильные ветровые нагрузки и являются ветровальными. Возможности импульсной томографии позволяют получить предварительное направление падения дерева;

2. Частота встречаемости внутренних деструкций ствола для исследованных образцов не проявляет селективности по принципам распределения антропогенной нагрузки (как химической природы, так и рекреационной нагрузки) и соответствует фоновым показателям. Таким образом, гипотеза об увеличении вероятности развития внутренних деструктивных процессов в древесине сосны обыкновенной под влиянием (*Pinus sylvestris* L.) антропогенных факторов не была подтверждена. При этом стоит отметить наличие в исследованных образцах с экспериментальных площадей элементов с долей деструкции более 30% сечения ствола (на уровне шейки корня – 13%, на высоте груди – 21% измерений), тогда как на фоновой пробной площади такие случаи отсутствуют. Исходя из этого, можно сделать вывод об ускорении развития деструкций растущей древесины *Pinus sylvestris* L. на территориях, подверженных антропогенной нагрузке. При этом все результаты с деструкцией более 30% ствола приходятся на пробные площади №1-3 (на высоте шейки корня – 43% измерений, на высоте груди – 37% измерений), что может свидетельствовать о преобладающем влиянии на состояние городских насаждений *Pinus sylvestris* L. рекреационной нагрузки над химическим воздействием.

3. Согласно анализу данных средних скоростей импульса в древесине распределение значений в модельных деревьях исследуемых пробных площадей соответствует такому распределению в модельных деревьях фоновой пробной площади. Возможность прямой корреляции данных средней скорости импульса с состоянием древесины не подтверждена;

4. 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

По результатам обработки материалов резистограмм получены следующие средние показатели по модельным деревьям на пробных площадях: средняя ширина годичного слоя в миллиметрах, количество годичных слоев в 1 сантиметре, средняя относительная плотность по данным резистографа, средняя плотность древесины в кг/м<sup>3</sup> [53-55, 82, 83, 86, 95, 106]. Полученные данные исследований сопоставлялись со справочными данными для древесины сосны обыкновенной, произрастающей в Восточной Сибири [8]. Результаты измерений приведены в таблицах 5.1 и 5.2.

Таблица 5.1 – Параметры древесины *Pinus sylvestris* L., полученные методом определения сопротивления сверлению

Номер пробной площади	Возраст, лет	Среднее сопротивление сверлению, усл. ед.	Среднее количество годичных слоев в см, шт	Средняя ширина годичного слоя, мм	Относительная плотность, %	Средняя плотность, кг/м <sup>3</sup>
1	47-79 (ср. 61,5)	90-131	4,23	2,36	13,3	101,2
2	66-86 (ср. 74)	103-167	4,42	2,26	18,7	139,7
3	53-82 (ср. 70,5)	91-128	6,05	1,65	15,0	113,2
4	52-98 (ср. 78,5)	78-124	5,41	1,84	14,9	103,8
5	49-72 (ср. 57)	83-127	5,04	1,98	14,4	107,6
6	58-73 (ср. 64,5)	80-141	4,73	2,11	13,4	100,4
7	36-51,5 (ср. 45)	80-144,5	3,84	2,60	14,0	104,4
8	71-94 (ср. 83,5)	96,5-131,5	5,5	1,82	14,8	111,4

Средняя ширина годичного слоя за счет лучшего светового режима, чем несколько большая – достигает 2,36 мм, что на 30% выше стандартных данных. При этом плотность древесины ниже стандартной в 4,2 раза.

Таблица 5.2 – Доля нарушенной древесины в модельных экземплярах *Pinus sylvestris* L., полученная методом определения сопротивления сверлению

Номер пробной площади	Доля нарушенной древесины, %		
	на начальной стадии	на развитой стадии	общая
1	18-66	0-51	20-76
2	0-49	0-68	27-68
3	0-31	0-48	18-48
4	21,5-61,5	0-33,5	25,5-61,5
5	7,5-38	0-17,5	14,5-40
6	5-35	0-22,5	23,5-43
7	6-40	0-11,5	6-46
8	0-42	0-24,5	7,5-51,5

На основании полученных данных построены графические зависимости диаметра модельных деревьев на высоте 1,3 м от возраста. Они представлены на рисунках 5.1-5.8.

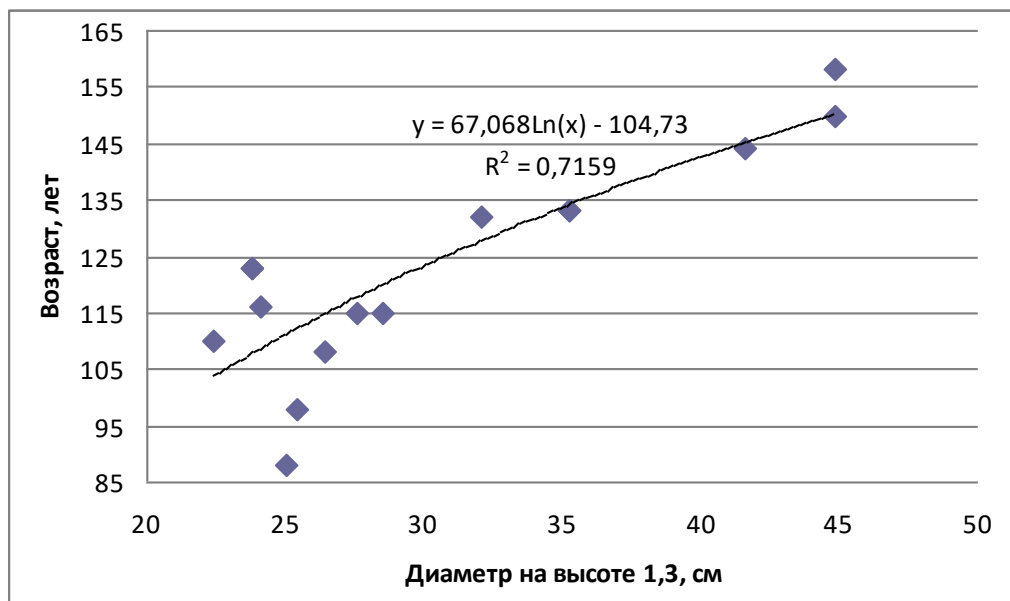


Рисунок 5.1 - Графическая зависимость диаметра модельных деревьев на высоте 1,3 м от возраста на пробной площади №1

На пробной площади №1 исследованная выборка демонстрирует высокую степень прямой корреляции ( $R^2=0,7159$ ) между диаметром на высоте 1,3 м и возрастом.

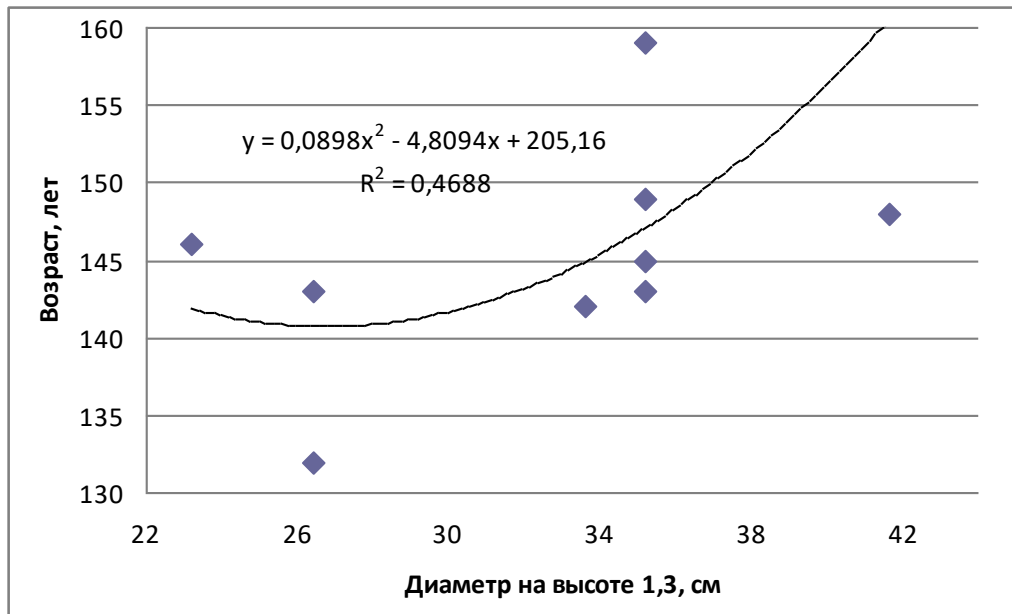


Рисунок 5.2 - Графическая зависимость диаметра модельных деревьев на высоте 1,3 м от возраста на пробной площади №2

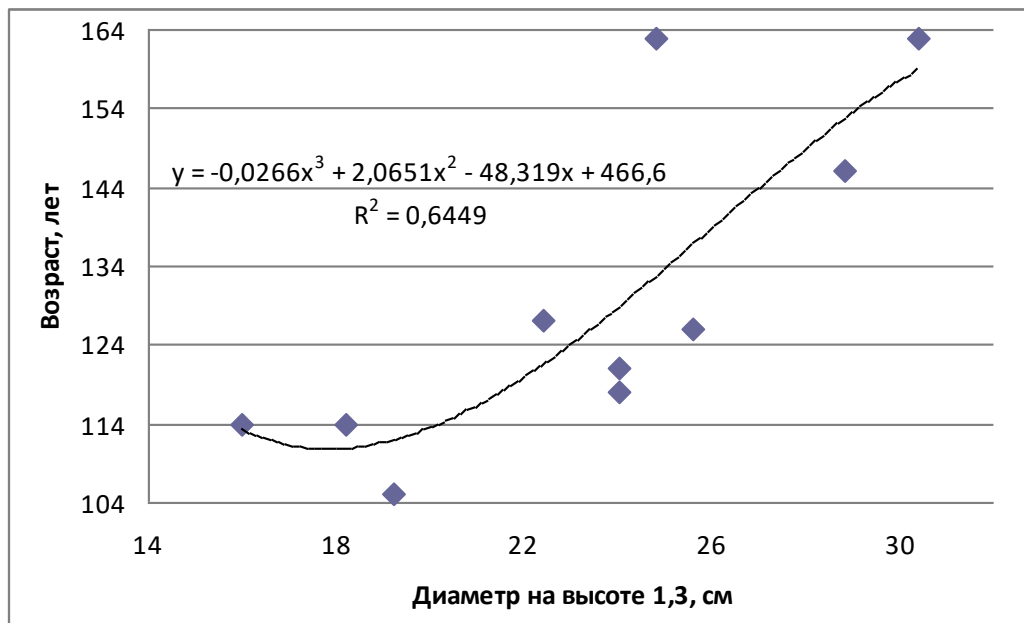


Рисунок 5.3 - Графическая зависимость диаметра модельных деревьев на высоте 1,3 м от возраста на пробной площади №3

На пробной площади №2 исследованная выборка демонстрирует среднюю степень прямой корреляции ( $R^2=0,4688$ ) между диаметром на высоте 1,3 м и возрастом.

На пробной площади №3 выборка демонстрирует высокую степень прямой корреляции ( $R^2=0,6449$ ) между диаметром на высоте 1,3 м и возрастом.

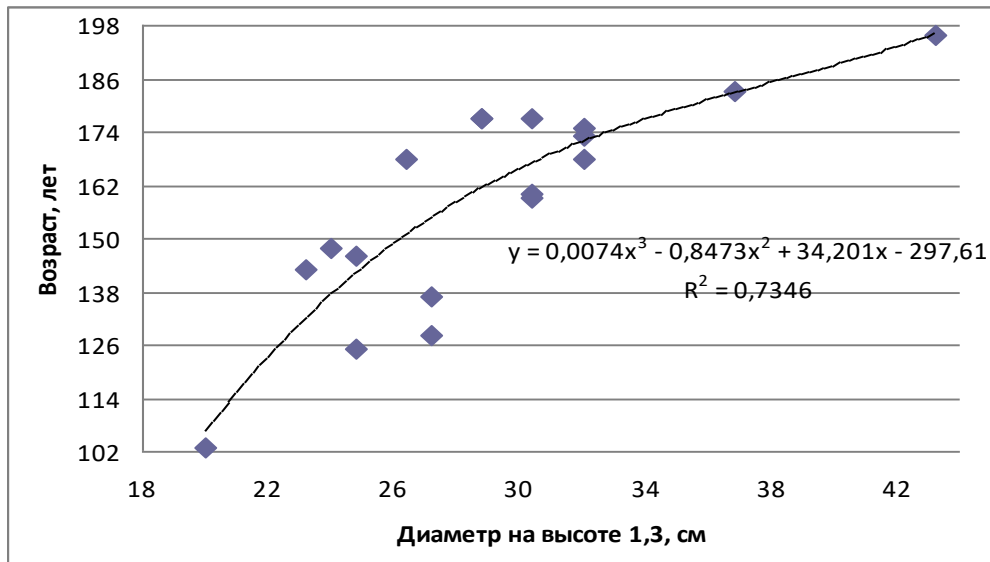


Рисунок 5.4 - Графическая зависимость диаметра модельных деревьев на высоте 1,3 м от возраста на пробной площади №4

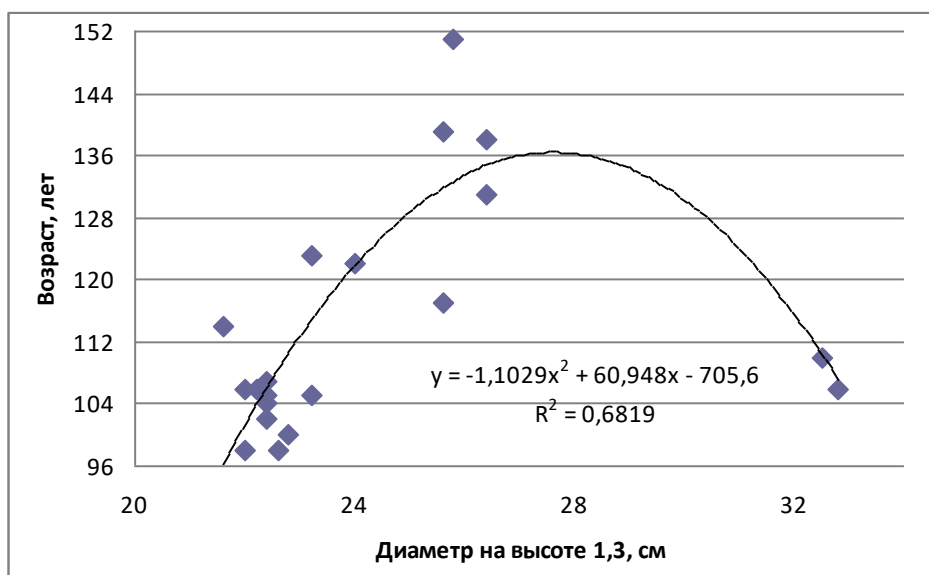


Рисунок 5.5 - Графическая зависимость диаметра модельных деревьев на высоте 1,3 м от возраста на пробной площади №5

На пробной площади №4 выборка демонстрирует высокую степень прямой корреляции ( $R^2=0,7346$ ) между диаметром на высоте 1,3 м и возрастом.

На пробной площади №5 выборка демонстрирует высокую степень прямой корреляции ( $R^2=0,6819$ ) между диаметром на высоте 1,3 м и возрастом.

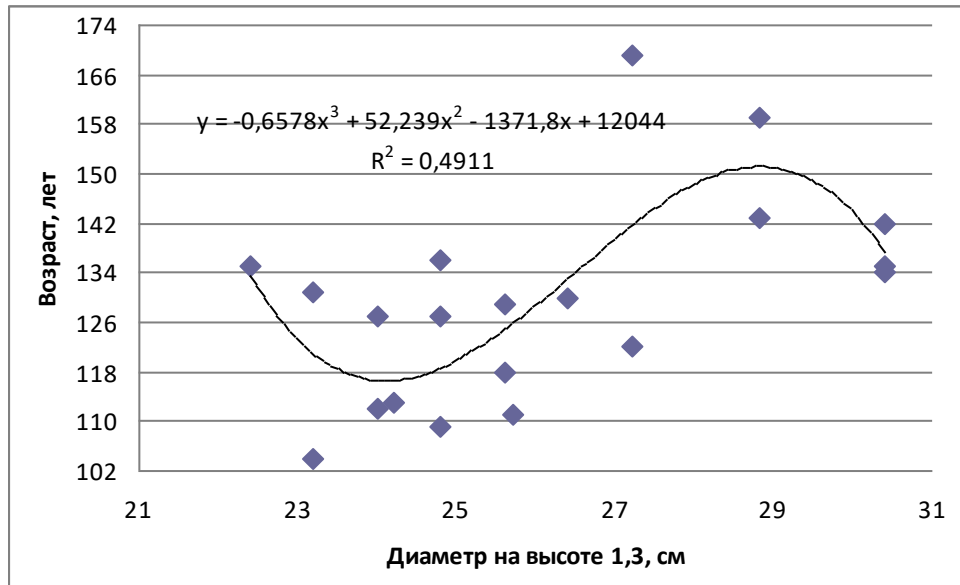


Рисунок 5.6 - Графическая зависимость диаметра модельных деревьев на высоте 1,3 м от возраста на пробной площади №6

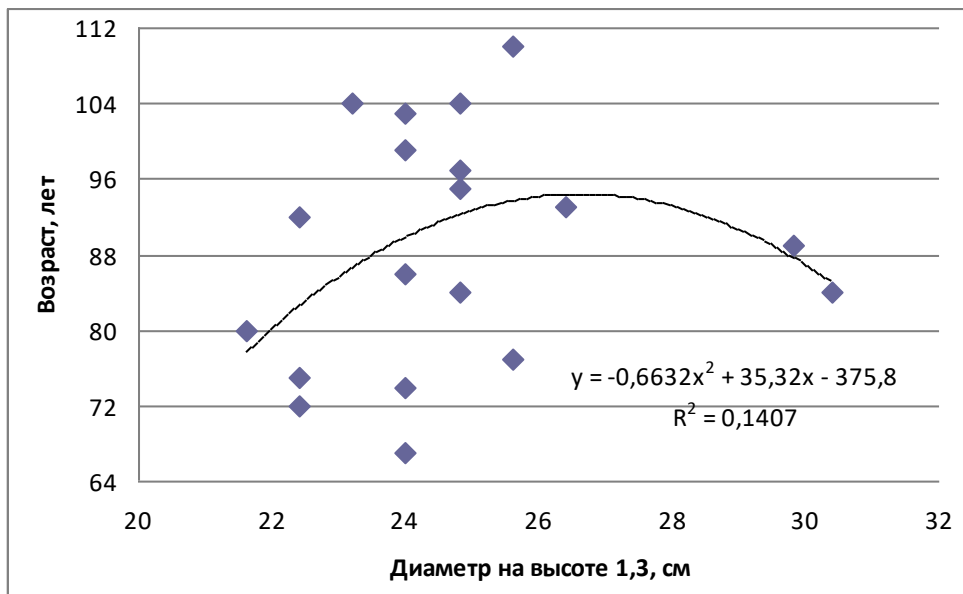


Рисунок 5.7 - Графическая зависимость диаметра модельных деревьев на высоте 1,3 м от возраста на пробной площади №7



На пробной площади №6 выборка демонстрирует среднюю степень прямой корреляции ( $R^2=0,4911$ ) между диаметром на высоте 1,3 м и возрастом.

На пробной площади №7 выборка демонстрирует низкую степень прямой корреляции ( $R^2=0,1407$ ) между диаметром на высоте 1,3 м и возрастом. Возможно отсутствие корреляции.

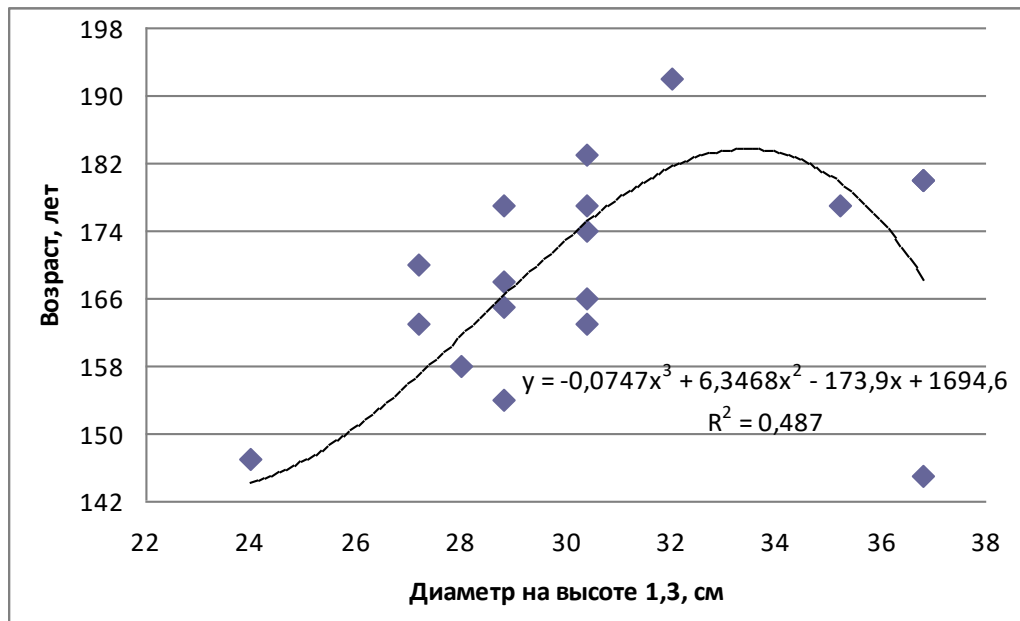


Рисунок 5.8 - Графическая зависимость диаметра модельных деревьев на высоте 1,3 м от возраста на пробной площади №8 (Контрольная точка)

На пробной площади №8 исследованная выборка демонстрирует среднюю степень прямой корреляции ( $R^2=0,487$ ) между диаметром на высоте 1,3 м и возрастом.

Все полученные в результате расчетов зависимости имеют тенденцию к прямой корреляции в соотношении возраст/диаметр.

Примеры полученных резистограмм модельных деревьев с различных пробных площадей изображены на рисунках 5.9-5.16. На резистограммах области зеленого цвета означают здоровую древесину, желтого – начальную стадию деструктивного процесса, красного – развитую стадию деструктивного процесса.

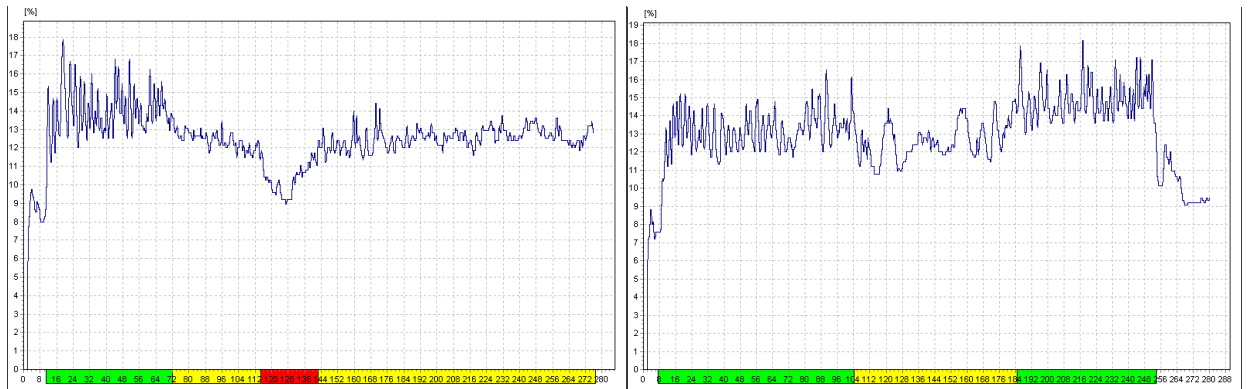


Рисунок 5.9 – Резистограммы модельных деревьев №5 и 9

Как видно из данных резистограммы модельного дерева №5 пробной площади №1 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 14,5 условных единиц, в то время как относительная плотность нарушенной древесины составляет 12,1 условных единиц для желтой зоны и 10,25 условных единиц для красной зоны. Таким образом, снижение относительной плотности составляет 17 и 30% от плотности здоровой древесины, что позволяет сделать вывод о наличии деструкции древесины в начальной и развитой стадиях соответственно. Дерево может быть признано потенциально опасным.

На модельном дереве №9 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 15 условных единиц, в то время как относительная плотность нарушенной древесины составляет 12,5 условных единиц. Снижение относительной плотности на 17%, а также заметное визуальное искажение естественного скачка плотности ранней - поздней древесины позволяет сделать вывод о наличии деструкции начальной стадии развития. Дерево может быть признано условно здоровым.

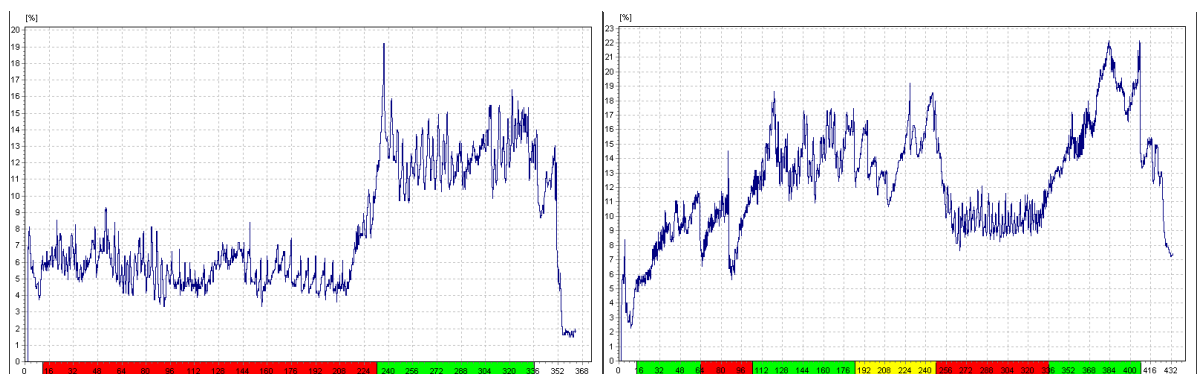


Рисунок 5.10 – Резистограммы модельных деревьев №11 и 16

Исходя из рисунка 5.10 для модельного дерева №11 пробной площади №2 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 13,1 условных единиц, в то время как относительная плотность нарушенной древесины составляет 6,2 условных единиц. Снижение относительной плотности составляет 53% и позволяет сделать вывод о наличии деструкции древесины в развитой стадии на 68% длины сечения ствола. Такое дерево имеет высокую степень риска падения и может характеризоваться как аварийное. Дерево может быть признано аварийным.

Для модельного дерева №16 пробной площади №2 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 14 условных единиц, в то время как относительная плотность нарушенной древесины составляет 8,3 и 9,8 условных единиц для красных зон. Снижение на 41 и 30% соответственно позволяет выделить зоны развитой деструкции. В то же время зона, выделенная на изображении желтым цветом, хоть и характеризуется довольно высоким показателем средней плотности (13,9 условных единиц), демонстрирует искажение перехода ранней-поздней древесины и наличие аномальных скачков плотности, что позволяет сделать вывод о пограничном состоянии участка и возможном развитии начальных стадий разрушения. Дерево может быть признано потенциально опасным.

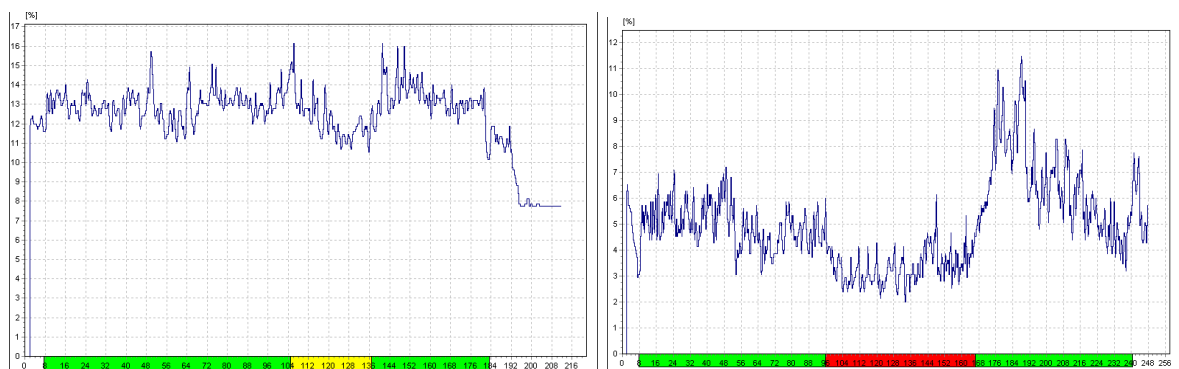


Рисунок 5.11 – Резистограммы модельных деревьев №25 и 30

На рисунке 5.11 для модельного дерева №25 пробной площади №3 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 13,8

условных единиц, в то время как относительная плотность нарушенной древесины составляет 11,5 условных единиц. Снижение относительной плотности составляет 16% и позволяет сделать вывод о наличии небольшого участка нарушения начальной стадии развития. Дерево может быть признано условно здоровым.

Для модельного дерева №30 пробной площади №3 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 7,25 условных единиц, в то время как относительная плотность нарушенной древесины составляет 3,25 условных единиц. Снижение относительной плотности составляет 55% и позволяет сделать вывод о наличии значительного участка ядровой гнили. Дерево может быть признано потенциально опасным.



Рисунок 5.12 – Резистограммы модельных деревьев №32 и 38

На рисунке 5.12 для модельного дерева №32 пробной площади №4 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 14,5 условных единиц, в то время как относительная плотность нарушенной древесины составляет 11 условных единиц. Снижение относительной плотности составляет 24% и позволяет сделать вывод о наличии небольших участков деструкции начальной стадии. Дерево может быть признано условно здоровым.

Для модельного дерева №38 пробной площади №4 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 15 условных единиц, в то время как относительная плотность нарушенной древесины составляет 11 условных единиц для участков красного цвета и 10,8 – для участков, выделенных

желты цветом. Снижение относительной плотности составляет 38 и 28% соответственно. Из сформированной картины можно сделать вывод о развитии обширной ядровой гнили, общей площадью 49% сечения ствола. Дерево может быть признано потенциально опасным.

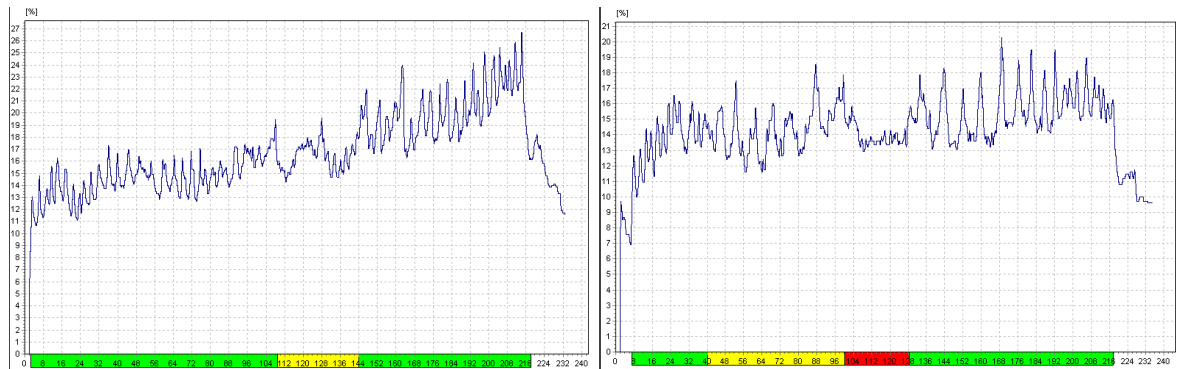


Рисунок 5.13 – Резистограммы модельных деревьев №41 и 45

На рисунке 5.13 для модельного дерева №41 пробной площади №5 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 19 условных единиц, в то время как относительная плотность нарушенной древесины составляет 16,75 условных единиц. Снижение относительной плотности составляет 12% и в совокупности с нарушением соотношения ранней-поздней древесины позволяет сделать вывод о наличии небольшого участка деструкции начальной стадии. Участок деструкции имеет незначительную площадь (16% сечения) и низкий показатель снижения плотности, что позволяет признать дерево условно здоровым. Дерево может быть признано условно здоровым.

Для модельного дерева №45 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 15,8 условных единиц, в то время как относительная плотность нарушенной древесины составляет 13,2 условных единиц для участков красного цвета и 15,1 – для участков, выделенных желты цветом. Снижение относительной плотности составляет 17 и 5% соответственно. Несмотря на низкие показатели снижения плотности рисунок распределения показателя заметно искажен, что может означать наличие серьезной деструкции,

смешавшей древесины различных годовичных колец. Дерево может быть признано потенциально опасным.

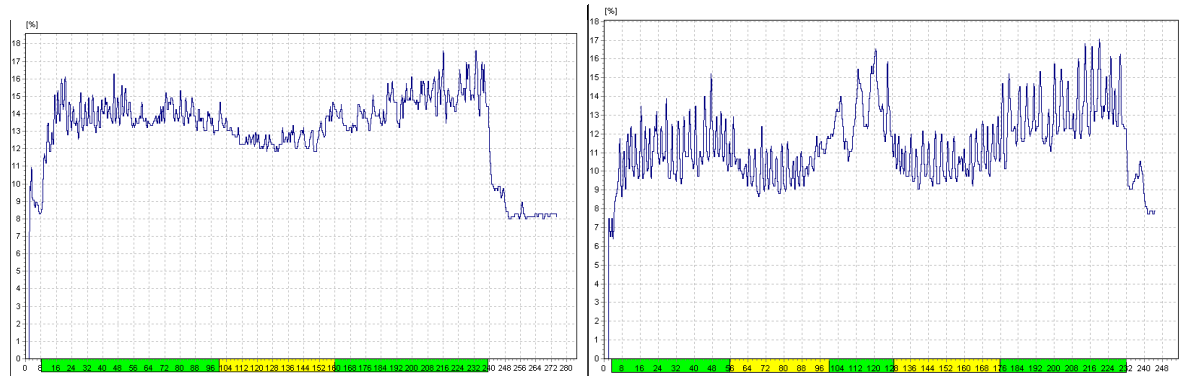


Рисунок 5.14 – Резистограммы модельных деревьев №55 и 60

На рисунке 5.14 для модельного дерева №55 пробной площади №6 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 15,3 условных единиц, в то время как относительная плотность нарушенной древесины составляет 12,7 условных единиц. Снижение относительной плотности составляет 17% и в совокупности с нарушением соотношения ранней-поздней древесины позволяет сделать вывод о наличии небольшого участка деструкции начальной стадии. Участок деструкции имеет незначительную площадь (16% сечения) и низкий показатель снижения плотности, что позволяет признать дерево условно здоровым и безопасным.

Для модельного дерева №60 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 13 условных единиц, в то время как относительная плотность нарушенной древесины составляет 10,6 условных единиц. Снижение относительной плотности составляет 19%, что может означать наличие деструкции начальной стадии развития на обширной площади сечения (40%). Дерево может быть признано условно здоровым и безопасным.

На рисунке 5.15 для модельного дерева №62 пробной площади №7 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 14,8 условных единиц, в то время как относительная плотность нарушенной древесины составляет 12,4 условных единиц. Снижение относительной плотности

составляет 19%, но в совокупности с нарушением соотношения ранней-поздней древесины и картины распределения плотностей по годичным кольцам позволяет сделать вывод о наличии небольшого участка деструкции развитой стадии. Дерево может быть признано потенциально опасным.

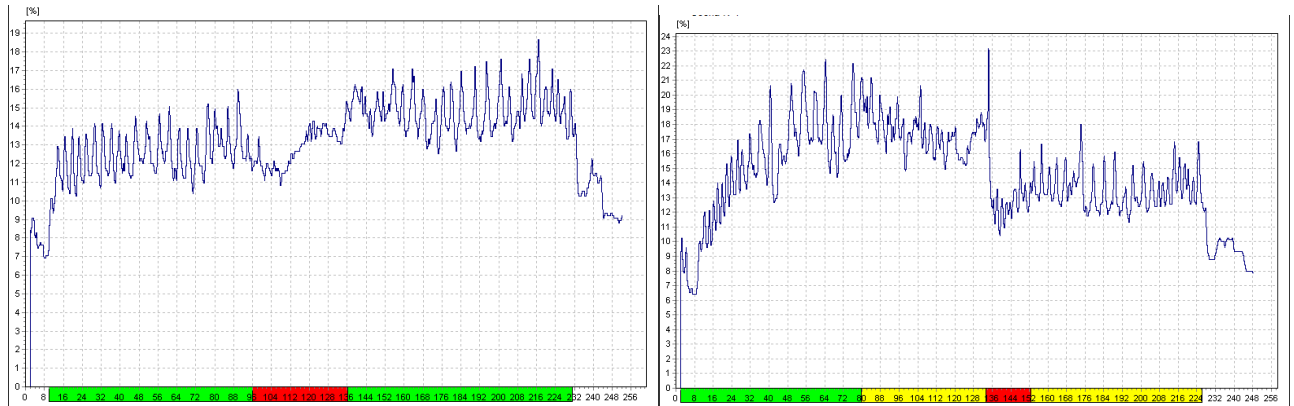


Рисунок 5.15 – Резистограммы модельных деревьев №62 и 64

Для модельного дерева №64 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 17,2 условных единиц, в то время как относительная плотность нарушенной древесины составляет 15 условных единиц для участков красного цвета и 12 – для участков, выделенных желты цветом. Снижение относительной плотности составляет 17 и 31% соответственно, что может означать наличие деструкции начальной и развитой стадий. Дерево может быть признано потенциально опасным.

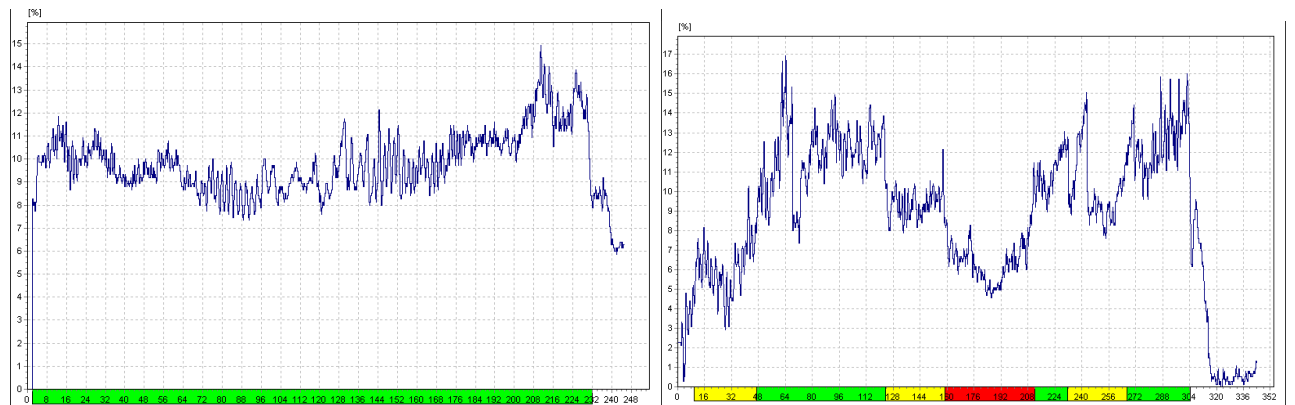


Рисунок 5.16 – Резистограммы модельных деревьев №75 и 80

На рисунке 5.16 для модельного дерева №75 пробной площади №8 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 11,25 условных единиц. Значительных снижений плотности древесины или искажений рисунка профиля не наблюдается. Дерево может быть признано здоровым.

Для модельного дерева №80 среднее значение относительной плотности здоровой части дерева составляет 12,5 условных единиц, в то время как относительная плотность нарушенной древесины составляет 9,9 условных единиц для участков красного цвета и 6,4 – для участков, выделенных желтым цветом. Снижение относительной плотности составляет 21 и 49% соответственно, что может означать наличие развитой ядровой гнили. Дерево может быть признано потенциально опасным.

Согласно полученным результатам участки профиля сверления, на которых возможно развитие деструктивных процессов, можно выделить на всех исследованных образцах. В 60% модельных образцов доля нарушенной древесины составляет от 20 до 40%. При этом 56% выборки имеет деструкции начальной стадии развития на 10-30% профиля сверления; развитая же деструкция в 31% случаев отсутствует полностью, а в 44% - не превышает 20% профиля сверления. Гистограммы распределения значений доли нарушенной древесины приведены на рисунках 5.17-5.19.

На фоновой пробной площади 60% модельных образцов имеют участки пониженной плотности начальной стадии деструкции не более чем на 20% профиля сверления. Развитая деструкция в 40% случаев отсутствует полностью, еще в 50% - не превышает 20% профиля сверления. Общая доля нарушенной древесины, характеризующаяся наибольшей встречаемостью (40% выборки), составляет 10-20%.

Исходя из вышеуказанного, можно сделать вывод, что согласно данным Resistograph® общее содержание в исследуемых модельных деревьях *Pinus sylvestris* L. древесины с пониженными показателями плотности выше, чем в контрольных образцах с фоновой пробной площади.



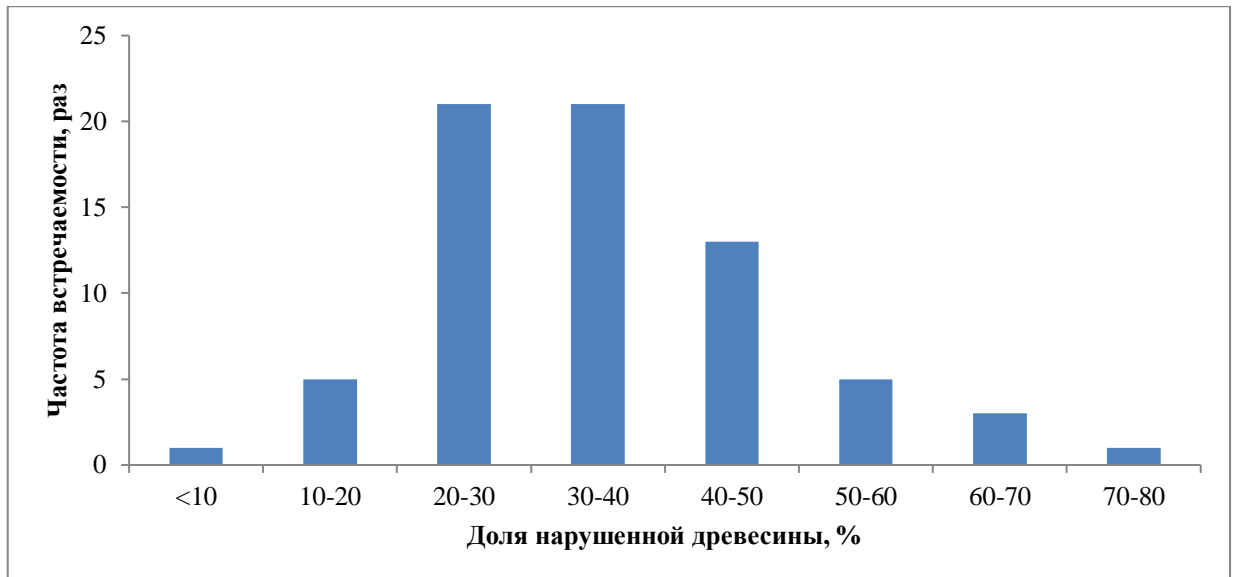


Рисунок 5.17 – График частоты встречаемости деструкции древесины по пробным площадям №1-7

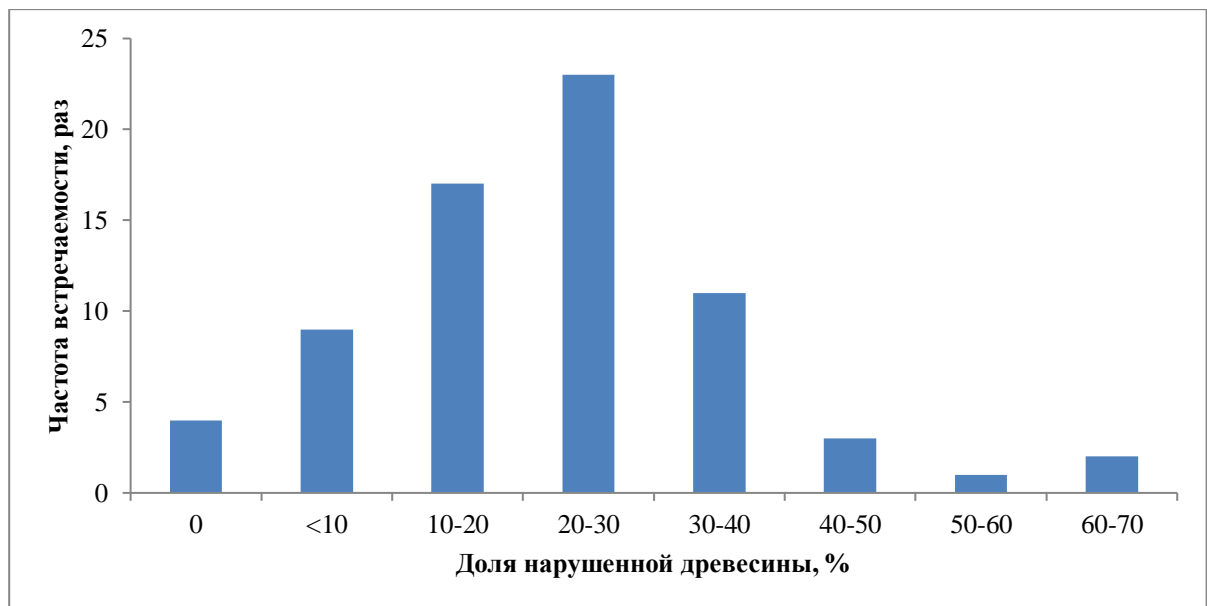


Рисунок 5.18 – График частоты встречаемости начальной стадии деструкции древесины по пробным площадям №1-7

Исходя из анализа значений среднего сопротивления сверлению, для модельных деревьев площадей №1-7 наиболее характерны значения в диапазоне 89-100 условных единиц (28% выборки), 52% значений выборки приходится на диапазон 89-111 условных единиц.

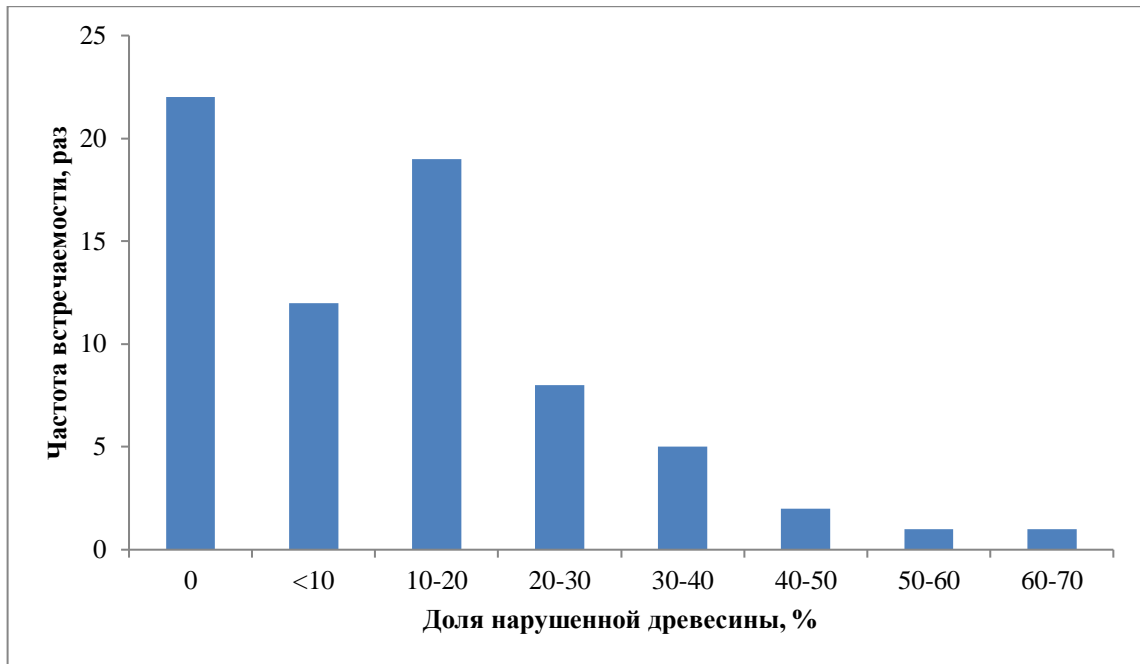


Рисунок 5.19 – График частоты встречаемости развитой стадии деструкции древесины по пробным площадям №1-7

Для фоновой площади наибольшую частоту встречаемости имеют значения в диапазоне 108-120 условных единиц; 70% значений выборки приходится на диапазон 96-120 условных единиц. Таким образом, значения средних сопротивлений сверлению для исследуемых пробных площадей №1-7 устойчиво ниже фоновых.

Полученные в ходе проведения измерений данные были обработаны методом агломеративной иерархической кластеризации. Результаты приведены на рисунках 5.20-5.21. На дендрограммах различными цветами выделены номера модельных деревьев, относящиеся к различным пробным площадям:

	- 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)

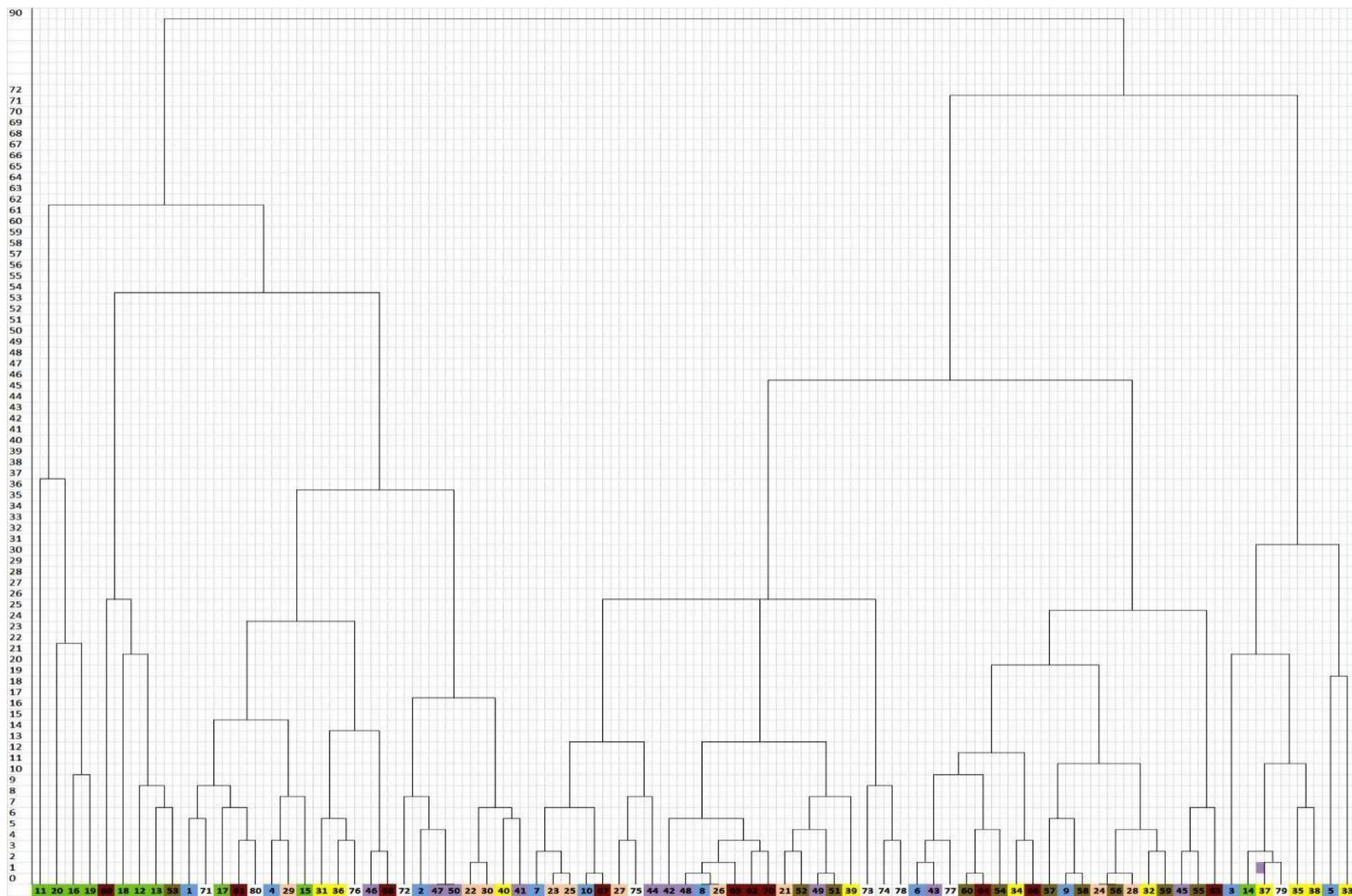


Рисунок 5.20 – Средство модельных деревьев по параметрам содержание деструкций (%) / среднее сопротивление сверлению (усл. ед.)

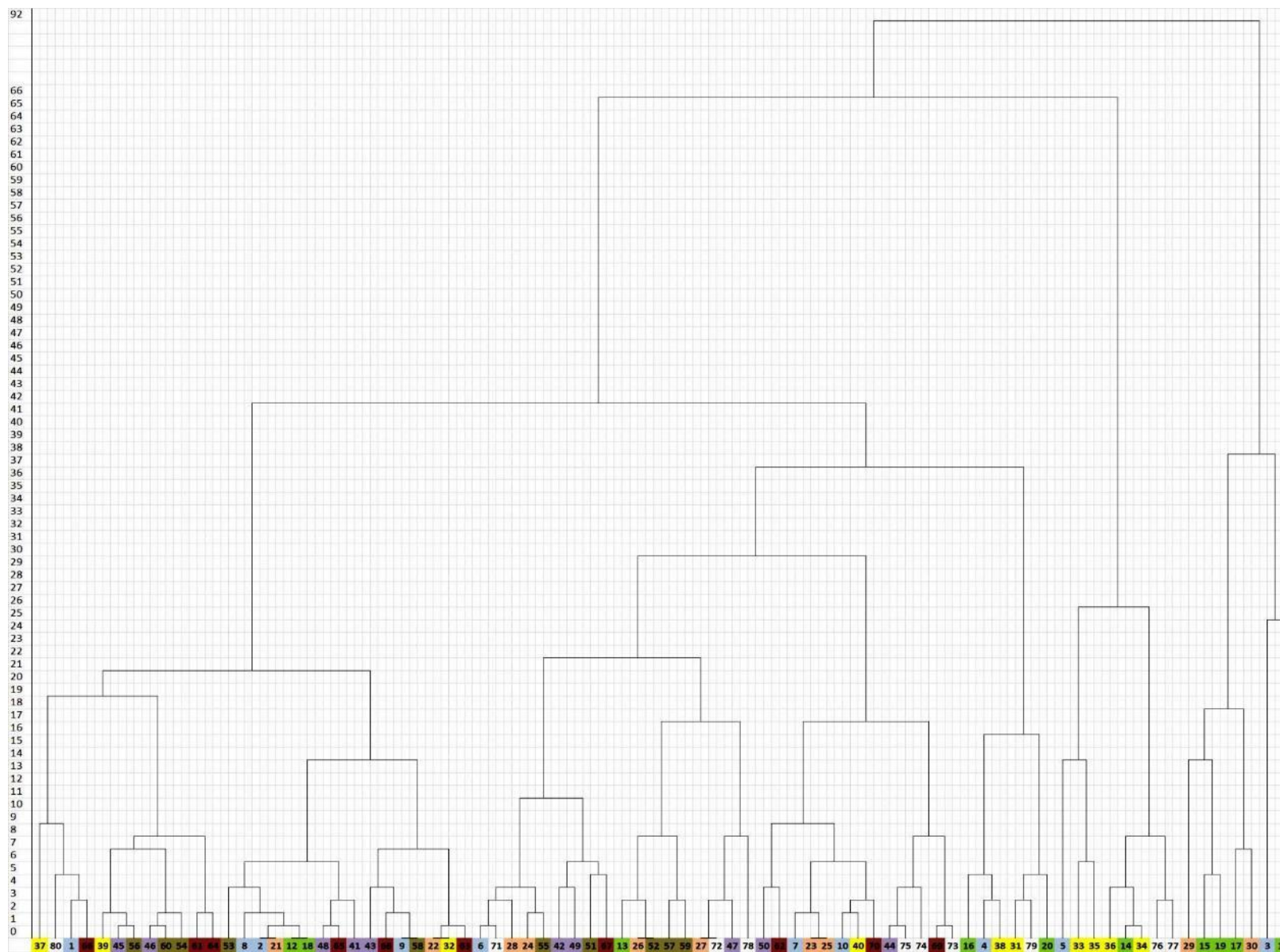


Рисунок 5.21 – Средство модельных деревьев по параметру содержание деструкций (%) на начальной и развитой стадиях

Исходя из анализа рисунка 5.20, можно оценить исследованную выборку как разрозненную. На графике можно выделить 4 плотных крупных кластера и 2 небольшие группы, состоящие преимущественно из модельных деревьев площади №2. Относительно высокой селективностью значений обладает также площадь №4. Прочие деревья различных площадей высокой селективности не проявляют. При этом показатели модельных деревьев площадей №2 и 4 между собой также имеют высокую степень разрозненности.

По структуре распределения деструкций в стволе (рисунок 5.21) высокую степень обособления значений также демонстрируют модельные деревья площадей №2 и 4. Согласно расчетам показатели площадей 1-4 имеют более тесно сродство между собой, нежели прочие площади. Всю совокупность выборки можно разделить на 4 неравномерных кластера, 2 из которых – практически полностью состоят из образов площадей 2 и 4 соответственно.

Анализируя все данные, полученные с использованием Resistograph® можно сделать следующие выводы:

1. в результате проведенных измерений было выявлено значительное увеличение толщины годичных слоев относительно стандартных литературных данных (в 2,4 раза). Возможная причина такой характеристики связана с улучшенным световым режимом в городских насаждениях;

2. значительных отличий в значениях плотности древесины между исследованными площадками не выявлено;

3. все полученные в результате расчетов зависимости имеют тенденцию к прямой корреляции в соотношении возраст/диаметр, что соответствует естественному соотношению;

4. согласно полученным результатам участки профиля сверления, на которых возможно развитие деструктивных процессов, можно выделить на всех исследованных образцах;

5. согласно данным Resistograph® общее содержание в исследуемых модельных деревьях *Pinus sylvestris* L. древесины с пониженными показателями плотности выше, чем в контрольных образцах с 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 не более чем на 20% профиля сверления. Селективность данных по пробным площадям достоверно не прослеживается;

6. исходя из анализа значений среднего сопротивления сверлению, для модельных деревьев площадей №1-7 наиболее характерны значения в диапазоне 89-111 условных единиц. 70% значений выборки фоновой площади имеют значения в диапазоне 96-120 условных единиц. Таким образом, значения средних сопротивлений сверлению для исследуемых пробных площадей №1-7 устойчиво ниже фоновых;

7. согласно результатам кластерного анализа 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. При этом пробные площади №1-3 объединены высоким уровнем рекреационной нагрузки, в то время как по химическому воздействию данные площади разнородны (пробные площади №1 и 3 относятся к зонам с высоким уровнем загрязнения, а площади №2 и 4 – к зонам с низким). Таким образом прослеживается взаимосвязь между рекреационной нагрузкой и повышенным содержанием деструкций в ствольной древесине.

## 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.

С учетом средней высоты древостоя сосны и среднего возраста модельных деревьев, полученного с использованием Resistograph®, рассчитан бонитет насаждений (таблица 6.1).

Таблица 6.1 – Бонитет исследованных насаждений

№ пробной площади	Средний возраст, лет	Средняя высота, м	Бонитет
1	61,5	19,2±0,4	IV
2	74	13,4±0,3	V
3	70,5	11,1±0,2	Va
4	78,5	21,0±0,5	IV
5	57	13,8±0,3	V
6	64,5	19,0±0,4	IV
7	45	14,7±0,3	IV
8	83,5	24,5±0,5	III

Согласно полученным данным бонитет всех исследуемых урбодендроценозов снижен относительно контрольного образца естественного насаждения.

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 ствола и сопротивлению древесины сверлению;
- на основании результатов интерпретации томограмм и резистограмм: доля нарушенной древесины в профиле.

Результаты приведены на рисунках 6.1 и 6.2.





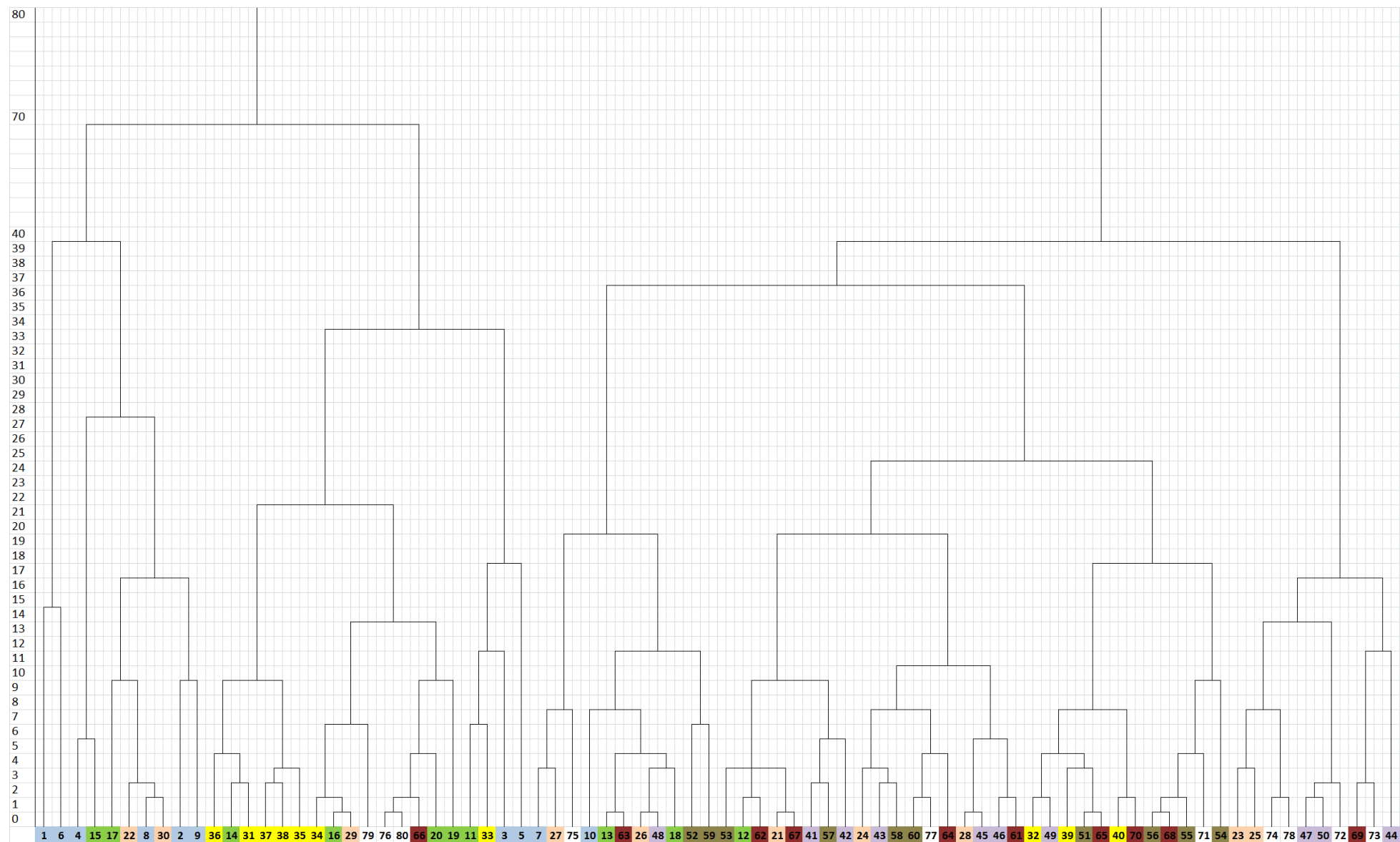


Рисунок 6.2 – Средство модельных деревьев по содержанию нарушенной древесины (%) согласно томограммам и резистограммам

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)

Из анализа рисунка 6.1, можно отметить высокую селективность показателей площадок №1 и 2, каждая из которых формирует практически целостный кластер. Прочие площади не отражают подобной избирательности. Если исходить из анализа сродства по экспертной оценке, можно разделить всю выборку на два больших разрозненных кластера, на первый из которых приходится большинство значений площадей №1-4, прочие площади составят второй кластер. При этом значения фоновой площади равномерно распределены по обоим кластерам.

На основании сопоставления данных, полученных с использованием нескольких методов анализа можно сделать следующие выводы:

1. Бонитет исследованных городских насаждений *Pinus sylvestris* L. значительно снижен относительно естественного природного состояния, что говорит об общей угнетенности дендроценозов под влиянием антропогенного воздействия. Класс бонитета сосновых древостоев в лесах Братского района в среднем составляет 3, а на некоторых пробных площадях достигает 4 или даже 5 класса;

2. Перекрестный анализ данных импульсной томографии и определения сопротивления сверлению подтвердил отсутствие значимого отличия показателей площадей № 5-7, и фоновой площади №8. Относительно высокую селективность демонстрируют площади №1-4. При этом площади №1-3 объединяются параметрами высокой степени повреждения корневых систем растений, что дает

основание предполагать превалирующее значение данного фактора в прогрессировании внутренних деструкций древесины *Pinus sylvestris* L.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Согласно результатам статистической оценки биометрических параметров исследованных древостоев выявлено нарушение в естественном распределении элементов дендроценоза. Показатели фоновой пробной площади полностью соответствуют нормальному распределению, в то время как нарушенные антропогенным воздействием территории в большинстве случаев (6 из 7 площадей) ему не соответствуют. 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. 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 1,0%. 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).

4. В результате проведенных инструментальных измерений 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 (которая определялась по степени повреждения и оголения корневых систем) 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 фонового.

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 внутреннего состояния стволов с использованием методов неразрушающего контроля древесины с целью своевременного определения опасных и аварийных деревьев, а также деревьев, требующих мероприятий по сохранению (деревья, обладающие высокой декоративностью, деревья ценных для условий города видов, а также деревья, имеющие историческую или природную ценность). Повышенное внимание следует уделять насаждениям, входящим в городские парковые зоны и подвергающимся повышенной рекреационной нагрузке. В зонах, подверженных

повышенному воздействию антропогенного воздействия, рекомендуется сочетать естественные насаждения *Pinus sylvestris* L. с породами, обладающими повышенной газоустойчивостью и устойчивостью к рекреационному воздействию : (черемуха обыкновенная (*Padus avium* Mill.), карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), береза бородавчатая (*Betula pendula* Roth), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.)), для улучшения эстетических характеристик насаждений.

**Список использованных источников**

1. Абалаков, А.Д. Географическая энциклопедия Иркутской области: общ. очерк / А.Д. Абалаков [и др.] ; ред. Л.М. Корытный – Иркутск: Ин-т географии им. В.Б. Сочавы СО РАН, 2017. – 336 с.
2. Абраменко, О.В. Индикация состояния городских насаждений на юге Сибири по морфометрическим показателям хвои лиственницы сибирской / О.В. Абраменко, Е.А. Бабушкина, Ю.А. Кропачева // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2013. - № 35. - С. 31-34.
3. Авраменко, А.А. Исследование внутреннего состояния и структуры древесины с использованием прибора Резистограф R650-Sc / А.А. Авраменко // Вопросы криминологии, криминалистики и судебной экспертизы. - 2020. - № 2 (48). - С. 111-114.
4. Агафонова, А.Л. Санитарное состояние посадок липы мелколистной на центральных улицах г. Екатеринбурга / А.Л. Агафонова, Л.И. Аткина, Г.В. Агафонова // Леса России и хозяйство в них. - 2008. - № 1 (30). - С. 75-80.
5. Алексеев, В.А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев. / В.А. Алексеев // М.: Лесоведение. – 1989. - №04. - С. 51-57
6. Аргучинцева, А.В. Оценка антропогенного загрязнения атмосферы города (на примере г. Братска) / А.В. Аргучинцева, О.В. Сташок // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. - 2009. - Т. 2. № 1. - С. 25-34.
7. Аткина, Л.И. Современное состояние зелёных насаждений и почвенного покрова парка "Летний" в г. Екатеринбурге / Л.И. Аткина, Г.В. Агафонова, Л.П. Абрамова // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. - 2018. - № 4 (53). - С. 106-113.
8. Бабамурадова, А.Б. Оценка внутреннего состояния древесины ствола липы методом акустической томографии "Арботом" / Бабамурадова А.Б. // Инновационные научные исследования: теория, методология, практика. сборник статей XX Международной научно-практической конференции. - 2020. - С. 33-35.

9. Болондинский, В.К. Влияние длительности воздействия токсичных поллютантов на состояние устьиц и фотосинтез хвои *Pinus sylvestris* L. / Л.К. Кайбияйнен, П. Харри, Г.И. Софронова, В.К. Болондинский // Физиология растений. 1995. - Т. 42, № 5. - С. 751–757.
10. Болондинский, В.К. Водный режим и фотосинтез сосны в условиях промышленного загрязнения среды / Л.К. Кайбияйнен, В.К. Болондинский, Т.А. Сазонова, Г.И. Софронова // Физиология растений. 1995. - Т. 42. № 3. - С. 451 - 456.
11. Боровиков, А.М. Справочник по древесине / А.М. Боровиков, Б.Н. Уголев // под ред. Б.Н. Уголева. - М.: Лесн. пром-сть, 1989. – 296 с.
12. Булкин, В.В. Мониторинг акустического загрязнения локальной урбанизированной территории / В.В. Булкин, И.Н. Кириллов, Т.Д. Щёлокова // Методы и устройства передачи и обработки информации. - 2016. - № 18. - С. 22-26.
13. Бухарина, И.Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде: Монография / И.Л. Бухарина, Т.М. Поварницина, К.Е. Ведерников - Ижевск: Ижевская ГСХА, 2007. — 216 с.
14. Васильев, А.С. Бурав возрастной и пути его совершенствования / А.С. Васильев, И.Р. Шегельман, В.М. Лукашевич, Ю.В. Суханов // Инженерный вестник Дона. - 2013. - № 2 (25). - С. 51.
15. Вашук, Л.Н. Динамика лесных пространств Иркутской области / Л.Н. Вашук, А.З. Швиденко – Иркутск : ОАО «Иркутская областная типография №1», 2006. – 392 с.
16. Веретенников, А.В. Физиология растений: учебник для студентов высших учебных заведений / А. В. Веретенников. - 4-е изд., стер. - Воронеж: Воронежская гос. лесотехническая акад., 2015. - 271 с.
17. Винокуров, М. А. Города Иркутской области. / М.А. Винокуров, А.П. Суходолов - 2-е изд., испр. и доп. - Иркутск : Изд-во БГУЭП, 2011. - 342 с.



18. Вишнякова, С.В. Влияние выбросов автотранспорта на анатомические параметры хвои ели колючей в условиях г. Екатеринбурга / С.В. Вишнякова, Л.И. Аткина // Хвойные бореальной зоны. - 2011. - Т. 28. - № 1-2. - С. 134-136.
19. Вишнякова, С.В. Влияние степени загрязнения выбросами автотранспорта на параметры хвои ели сибирской различных морфологических форм / С.В. Вишнякова, Л.И. Аткина, Т.И. Фролова // Леса России и хозяйство в них. - 2008. - № 1 (30). - С. 80-84.
20. Гаврилин, И.И. Некоторые особенности газопоглощительной способности деревьев в урбоэкосистеме г. Братска / И.И. Гаврилин, Е.М. Рунова // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. 2012. - № 1. - С. 135-138.
21. Герасимов, В.А. Природа Братска и его окрестностей. / В.А. Герасимов – Братск, 2001. – 176 с.
22. Горышина, Т.К. Экология растений. / Т.К. Горышина - М.: Высшая школа, 1979. — 368 с.
23. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Иркутской области в 2019 году». – Иркутск: ООО «Мегапринт», 2020 – 314 с.
24. Груздев, Г.С. Защита зеленых насаждений в городах: Справочник / Г.С. Груздев, Л.А. Дорожкина, С.А. Петриченко - М.: Стройиздат, 1990. - 544 с.
25. Делова, О.В. Загрязнение воздуха селитебных территорий Воронежской области и оценка риска для здоровья населения / О.В. Делова, О.В. Клепиков, С.А. Куролап // Исследования естественных экосистем Прихоперья и сопредельных территорий, их использование в обучении (флора, фауна, экология, физиология): Сборник научных статей. – Борисоглебск: Борисоглеб. гос. пед. ин-т. - 2010. С. 26-30.
26. Денисова, Е.С. Газопоглощительная способность некоторых древесных растений Западной Сибири / Е.С. Денисова, Е.В. Алексеенко // Омский научный вестник. - 2010. - № 1 (94). - С. 211-215.

27. Дорощеева, Л.М Влияние высокого уровня техногенного загрязнения атмосферного воздуха и курения на распространенность заболеваний органов дыхания в г. Братске / Л.М. Дорощеева, Т.П. Сизых, Т.В. Козина, Е.И. Рыбникова // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). - 2003. - Т. 37. №2. - С. 63-69.

28. Ермакова, А.А. Система озеленения как средообразующий фактор в городе Саранск / А.А. Ермакова, С.В. Меркулова, П.И. Меркулов // Современные проблемы территориального развития. - 2018. - № 1. - С. 3-5.

29. Ерохина, В. И. Озеленение населенных мест: справочник / В. И. Ерохина, Г. П. Жеребцова, Т. И. Вольфтруб и др.; под ред. В. И. Ерохиной // Москва : Стройиздат. - 1987. - 480 с.

30. Залесов, С.В. Технологии обустройства автомобильных дорог зелеными насаждениями для обеспечения комплексной защиты и безопасности дорожного движения / С.В. Залесов, О.А. Козлов, А.А. Успен // Актуальные вопросы проектирования автомобильных дорог. Сборник научных трудов ОАО Гипродорнии. - 2014. - № 5 (64). - С. 130-135.

31. Залесов, С.В. Корневые и стволовые гнили сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) и березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в Нижне-Исетском лесопарке г. Екатеринбурга / С.В. Залесов, Е.В. Колтунов // Аграрный вестник Урала. - 2009. - № 1 (55). - С. 73-75.

32. Залесов, С.В. Лесные экосистемы зон сильного аэротехногенного загрязнения / С.В. Залесов, Н.М. Шебалова // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник - 2008. - № 3 - С. 102-106.

33. Залесов, С.В. Основные факторы пораженности сосны корневыми и стволовыми гнилями в городских лесопарках / С.В. Залесов, Е.В. Колтунов, Р.Н. Лаишевцев // Защита и карантин растений. - 2008. - № 2. - С. 56-58.

34. Игнатенко, О.В. Оценка техногенной нагрузки на компоненты окружающей среды в городе Братске / О.В. Игнатенко, М.Р. Ерофеева, И.В. Камышникова // Труды Братского государственного университета. Серия: Естественные и инженерные науки. - 2011. - Т. 1. - С. 118-121.

35. Игнатенко, О.В. Зонирование селитебной территории г. Братска по уровню загрязнения снежного покрова / О.В. Игнатенко, М.В. Сенченко, Н.А. Мещерова // Системы. Методы. Технологии. - 2012. - № 3 (15). - С. 138-149.
36. Казанская, Н.С. Изучение рекреационной дигрессии естественных группировок растительности / Н.С. Казанская // Изв. АН СССР, сер. геогр. – 1972. - № 1. - С. 52 – 59.
37. Калашникова, И.В. Изменение структуры и фитомассы кроны березы повислой (*Betula pendula* Roth) и березы пушистой (*Betula pubescens* Ehrh.) в условиях техногенного стресса / И.В. Калашникова, З.Я. Нагимов, А.К. Махнев // Вестник КрасГАУ. - 2011. - № 10 (61). - С. 123-126.
38. Калугина, О.В. Оценка антропогенной нарушенности лесных биогеоценозов в городской среде (на примере г. Братска) / О.В. Калугина, О.В. Шергина, Т.А. Михайлова // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. - 2017. - Т. 19. - С. 48-67.
39. Козловцева, О.С. Особенности шишек и семян *Pinus sylvestris* L. в условиях малого города / О.С. Козловцева // Приволжский научный вестник. - 2013. - № 4 (20). - С. 13-15.
40. Колтунов, Е.В. Стволовые гнили березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в городских лесопарках и пригородных лесах г. Екатеринбурга и Свердловской области / Е.В. Колтунов // Современные проблемы науки и образования. - 2016. - № 6. - С. 493.
41. Колтунов, Е.В. Стволовые гнили в пригородных лесах и городских лесопарках Зауралья в условиях урбанизации / Е.В. Колтунов // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2017. - № 49. - С. 102-105.
42. Колтунов, Е.В. Корневые и стволовые гнили и состояние древостоев Шарташского лесопарка г. Екатеринбурга в условиях различной рекреационной нагрузки / Е.В. Колтунов, С.В. Залесов, А.Ю. Демчук // Аграрный вестник Урала. - 2011. - № 8 (87). - С. 43-46.
43. Комаров, В.Л. Сосна – *Pinus* (Tourn.) L. / В.Л. Комаров // Флора СССР. – М.; Л.: Изд-во АН СССР. – 1934. - Т. 1. - С. 167-170.

44. Кулакова, С.А. Инструментальная диагностика деревьев уличного озеленения (на примере липы сердцевидной (*Tilia cordata*)) / С.А. Кулакова // Антропогенная трансформация природной среды. - 2018. - № 4. - С. 224-227.
45. Кулакова, С.А. Инструментальная оценка состояния дубовых насаждений на территории природного заповедника "Шайтан-Тау" / С.А. Кулакова, А.М. Роготнева // Вопросы степеведения. - 2019. - № 15. - С. 160-164.
46. Кульков, А.М. Направления использования физических методов контроля структуры и свойств древесины / А.М. Кульков, А.Н. Чубинский, А.А. Тамби, А.А. Федяев, Н.Ю. Федяева // Системы. Методы. Технологии. - 2015. - № 2 (26). - С. 152-158.
47. Лазарь, О.В. Анализ экологической обстановки города с развитой промышленной инфраструктурой (на примере г. Братска) / О.В. Лазарь // Вестник Иркутского государственного технического университета. - 2008. - № 4 (36). - С. 21-24.
48. Латухина, И.К. Импульсно-томографная диагностика стволов в городских условиях на примере липы мелколистной / И.К. Латухина, Н.А. Бабич, А.М. Антонов, Н.О. Пастухова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - 2016. - № 7 (118). - С. 36-40.
49. Лунц, Л.Б. Городское зеленое строительство: Учебник для вузов / Л.Б. Лунц // Издание 2-е, дополненное и переработанное. - Москва : Стройиздат. - 1974. - 275 с.
50. Мазная, Е. А. Методы изучения лесных сообществ / Е. А. Мазная, Е. Н. Андреева, Н. И. Ставрова, В. В. Горшков, И. В. Лянгузова, И. Ю. Баккал, В. Ю. Нешатаев, В. Ю. Нешатаева, В. Т. Ярмишко, М. А. Ярмишко // СПб.: НИИХимии СПбГУ. - 2002. - М54 - 240 с.
51. Мельничук, И.А. Диагностика внутреннего состояния деревьев *Tilia cordata* Mill. с использованием комплекса аппаратуры акустической ультразвуковой томографии "АРБОТОМ ®" / И.А. Мельничук, М.Й.С. Йассин, О.А. Черданцева // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. - 2012. - № S5. - С. 25-32.

52. Морозова, Г.Ю. Зеленая инфраструктура как фактор обеспечения устойчивого развития Хабаровска / Г.Ю. Морозова // Экономика региона. - 2018. - Т. 14. - № 2. - С. 562-574.
53. Мухачева, А.Н. Анализ таксационных характеристик зеленых древесных насаждений г. Братска / А.Н. Мухачева // The Scientific Heritage. - 2020. - № 57-2 (57). - С. 10-14.
54. Мухачева, А.Н. Особенности циркуляции воздушных масс на территории г. Братска / А.Н. Мухачева // Актуальные вопросы экологии и современных информационных технологий: состояние, проблемы и перспективы исследований: материалы ежегодных внутривузовских студенческих научно-практических конференций по итогам практик - 2013. – Братск: Изд-во БрГУ, 2014. – 78 с. - С. 60-61
55. Мухачева, А.Н. Оценка санитарного состояния урбодендроценозов г. Братска визуальными и инструментальными методами / А.Н. Мухачева // The Scientific Heritage. - 2020. - № 57-2 (57). - С. 7-10.
56. Мухачева, А.Н. Оценка состояния городских зеленых насаждений методом микросверления / А.Н. Мухачева // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2020. - № 58. - С. 153-156.
57. 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.
58. Насыров, А.М. Письмо о предоставлении сведений от 23.08.2017 года № 2846/36.
59. Напрасникова, Е.В. Экологическая и санитарно-бактериологическая характеристика почвенного покрова города Братска / Е.В. Напрасникова, А.П. Макарова, Н.Е. Буковская // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. - 2018. - Т. 26. - С. 18-27.
60. Никифорова, В.А. Оценка загрязнения почв г. Братска фтористыми соединениями / В.А. Никифорова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2008. № 3. С. 158-160.

61. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году. Государственный доклад. // М.: МГУ имени М.В. Ломоносова. - 2020. - 1000 с.

62. Об утверждении методических рекомендаций по подготовке государственных программ субъектов Российской Федерации и муниципальных программ формирования современной городской среды в рамках реализации приоритетного проекта «Формирование комфортной городской среды» на 2018 - 2022 годы: приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства РФ от 6 апреля 2017 г. № 691/пр. Ссылка на источник: <https://www.minstroyrf.gov.ru/>

63. ОСТ 56-69-83 Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки. - М.: ЦБНТИ гослесхоза СССР, 1983. - 60 с.

64. Паничева, Д.М. Состояние хвойных насаждений зоны широколиственных лесов и репродукция сосны обыкновенной в условиях промышленного загрязнения: на примере северо-западной части Брянской области : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.03.03 / Паничева Дарья Михайловна. - Брянск, 2009. – 21 с.

65. Пастухов, М.В. Особенности техногенного загрязнения и формы переноса ртути в Братском водохранилище / В.И. Алиева, Е.В. Бутаков, М.В. Пастухов, Л.Д. Андрулайтис // Геоэкология, инженерная геология, гидрогеология, геокриология. - 2011. - № 5. - С. 431-438.

66. Пастухов, М.В. Биоиндикация ртутного загрязнения Братского водохранилища / М.В. Пастухов, В.И. Гребенщикова // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Биология. Экология. - 2008. - Т. 1. № 2. - С. 132-135.

67. Петров, И.В. Гигиеническая оценка химического загрязнения почвы селитебных территорий нефтедобывающих районов республики Татарстан / И.В. Петров // Окружающая среда и здоровье. Гигиена и экология урбанизированных территорий. Материалы VI Всероссийской научно-практической конференции с

международным участием молодых ученых и специалистов. Под редакцией Ю.А. Рахманина. – М, 2016. - С. 358-361.

68. Петровская, П.А. Основные принципы благоустройства урбанизированной территории / П.А. Петровская, А.Г. Столярова // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агронимия и животноводство. - 2013. - № 5. - С. 86-92.

69. Позняк, С.С. Диагностика внутреннего состояния деревьев на наличие скрытых гнилей с использованием показателей сопротивления при сверлении древесины / С.С. Позняк, А.Н. Хох // Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века. Материалы 20-й международной научной конференции, в двух частях. – М, 2020. - С. 280-284.

70. Половинкина, Ю.С. Шумовое загрязнение окружающей среды урбанизированных территорий (на примере города Волгограда) / Ю.С. Половинкина // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. - 2012. - № 76. - С. 584-593.

71. Постановление Правительства РФ от 09.12.2020 N 2047 " Об утверждении Правил санитарной безопасности в лесах" Опубликован: Собрание законодательства Российской Федерации, N 50 (ч. V), 14.12.2020, ст.8244. Ссылка на источник: [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru)

72. Рекомендации по разработке проектов санитарно-защитных зон промышленных предприятий, групп предприятий. - М.: РЭФИА, 1998. – 86с.

73. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. - М.: Минтранс РФ, 1995. – 124 с.

74. Роготнева, А.М. Инструментальная диагностика древесных насаждений ленинского района г. Перми / А.М. Роготнева // Антропогенная трансформация природной среды. - 2018. - № 4. - С. 238-240.

75. Руководство по учету в проектах планировки и застройки городов требований снижения уровней шума. - М: Стройиздат, 1983. - С.25.

76. Рунова, Е.М. Инструментальная оценка состояния городских посадок тополя бальзамического / Е.М. Рунова, Л.В. Аношкина // Лесотехнический журнал. - 2017. - Т. 7. № 3 (27). - С. 136-142.
77. Рунова, Е.М. Оценка состояния городской среды по площади листовых пластин березы повислой (*Betula pendula* Roth.) / Рунова Е.М., Берковская О.Н. // Wschodnioeuropejskie Czasopismo Naukowe. - 2018. - № 4-2 (32). - С. 55-59.
78. Рунова, Е.М. Влияние техногенного загрязнения на состояние хвойных древостоев: автореф. дис. д-р с.-х. наук: 03.00.16 / Рунова Елена Михайловна. - Красноярск, 1999. - 44 с.
79. Рунова, Е.М. Зеленые насаждения в условиях урбоэкосистемы и перспективы озеленения г. Братска / Е.М. Рунова, И.И. Гаврилин // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2010. - № 25. - С. 153-156.
80. Рунова, Е.М. Комплексная оценка экологического состояния древесных растений урбоэкосистемы Братска по интегральному показателю устойчивости / Е.М. Рунова, И.И. Гаврилин, М.К. Гаврилина // Хвойные бореальной зоны. - 2012. - Т. 30. № 3-4. - С. 312-315.
81. Рунова, Е.М. Оценка качества деревьев сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / Е.М. Рунова, И.А. Гарус, А.Н. Мухачева // Актуальные проблемы лесного комплекса. - 2019. - № 54. - С. 144-148.
82. 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.
83. 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.
84. 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. Сборник статей всероссийской научно-практической конференции. - 2021.- С. 40-42.

85. Савченков, М.Ф. Патология щитовидной железы у детского населения при сочетанном воздействии дефицита йода и фтористого загрязнения окружающей среды / М.Ф. Савченков, Н.В. Ефимова, Р.С. Мануева, Л.А. Николаева, Н.С. Шин // Гигиена и санитария. - 2016. - Т. 95. № 12. - С. 1201-1205.

86. Санаев, И.В. Город и зеленые насаждения / И.В. Санаев // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. - 2006. - № 3. - С. 74-77.

87. Синадский, Ю.В. Сосна. Ее вредители и болезни / Ю.В. Синадский. - М: Наука, 1983. – 344с.

88. Спицына, Т.П. Пространственная динамика содержания фтора в хвое пихты сибирской (*Abies sibirica* L.) водосбора р. Базаиха Красноярского промышленного региона / Т.П. Спицына, О.В. Тасейко, Р.А. Ерастов, Т.М. Куприянова, Р.Р. Тагиров // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - 2018. - № 2 (137). - С. 166-176.

89. Стомахина, Е.Д. Хлороз как параметр экспресс-оценки степени загрязнения атмосферного воздуха / Е.Д. Стомахина // Успехи современного естествознания. - 2013. - № 8. - С. 56-58.

90. Танков, А.А. Современные методы оценки аварийности деревьев / А.А. Танков, Н.А. Жамурина, Д.А. Танков // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. - 2019. - № 5 (79). - С. 133-136.

91. Тюкавина, О.Н. О методах интерпретации результатов акустической томографии древесины сосны / О.Н. Тюкавина // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. - 2015. - № 4 (346). - С. 61-67.

92. Федеральный закон от 10.01.2002 N 7-ФЗ (ред. от 30.12.2020) "Об охране окружающей среды". Ссылка на источник: [www.pravo.gov.ru](http://www.pravo.gov.ru)

93. Фролов, А.К. Окружающая среда крупного города и жизнь растений в нем. / А.К. Фролов. - СПб.: Наука. Ленингр. отд-ние, 1998. - 328 с.

94. Чжан, С.А. Прогнозирование состояния лесных фитоценозов в связи с модернизацией производства Братского алюминиевого завода / С.А. Чжан, Е.М. Рунова, О.А. Пузанова // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. - 2008. - № 5. - С. 86-91.
95. Шарапов, Е.С. Сравнительный анализ способов определения плотности древесины с помощью рентгеновского излучения и устройства для измерения сопротивления сверлению / Е.С. Шарапов, В.Ю. Чернов // Вестник Московского государственного университета леса - Лесной вестник. - 2014. - Т. 18. № 2. - С. 89-95.
96. Швалева, Н.П. Расчет предельно допустимых нагрузок на сосновые древостои лесопарков г. Екатеринбурга / Н.П. Швалева, С.В. Залесов // Леса России и хозяйство в них. - 2008. - № 1 (30). - С. 65-69.
97. Шевелина, И.В. Структура естественных насаждений внутри городских кварталов г. Екатеринбурга / И.В. Шевелина, И.Ф. Коростелев, З.Я. Нагимов // Современные проблемы науки и образования. - 2014. - № 2. - С. 606.
98. Янченко, Н.И. Источники фтора в атмосферных осадках в г. Братск / Н.И. Янченко, Е.И. Котова // Метеорология и гидрология. - 2018. - № 5. - С. 108-112.
99. Bell, J.N.B. Air pollution and plant life / ed. by J.N.B.Bell, M.Treshow // 2nd ed. - Chichester: John Wiley, 2002. - 465 p.
100. Čabaravdić, A. Detection of decay in injured trees of silver fir using the method of tomography / A. Čabaravdić, T. Trestic, A. Haskovic, O. Mujezinović, K. Zahirović // Works of the Faculty of Forestry University of Sarajevo. - №1. – 2015 - p.1-11.
101. Clasmeier, O. Möglichkeiten und Grenzen der kombinierten Anwendung von Schalltomographie und elektrischer Widerstandstomographie am Beispiel von Rosskastanien / O. Clasmeier, S. Rust // Jahrbuch der Baumpflege. 2012. - p.15-18.
102. Eremeeva, V.G. Gas-resistance of the woody plants of West Siberia / V.G. Eremeeva, E.S. Denisova // Contemporary Problems of Ecology. - 2011. - Т. 4. № 2. - p. 195-201.

103. Lasaygues, P. Literature review of acoustic and ultrasonic tomography in standing trees / P. Lasaygues, A. Arciniegas, F. Prieto, L. Brancheriau // *Trees*. - 2014. - № 28(6). - p. 1559–1567.
104. Liang, S. Evaluation of Acoustic Tomography for Tree Decay Detection / S. Liang, X. Wang, J. Wiedenbeck, Z. Cai, F. Fu // In: 15th International Symposium on Nondestructive Testing of Wood. Forest Products Society. - 2008. - p. 49–54.
105. Marra, R.E. Non-destructive assessment of internal decay in three hardwood species of northeastern North America using sonic and electrical impedance tomography / Marra R.E., Brazee N.J., Göcke L., Van Wassenauer P. // *Forestry*. - 2011. - №84. - p. 33–39.
106. Rinn, F. Eine neue Bohrmethode zur Holzuntersuchung / F. Rinn // *Holz-Zentralblatt*. - 1989. - №15 (34). s. 529-530.
107. Rinn, F. Holzanatomische Grundlagen der Schall-Tomographie an Bäumen / F. Rinn // *Neue Landschaft*. - 2004. - № 7/04. - s. 44-47.
108. Rinn, F. Statische Hinweise im Schall-Tomogramm von Bäumen / F. Rinn // *Stadt und Grün*. - 2004. - № 7/2004. - s. 41-45.
109. 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.
110. Rust, S. A new tomographic device for the non-destructive testing of trees / S. Rust // *Proceedings of the 12th international symposium on non-destructive testing of wood*, University of West Hungary. - 2000. - p. 233–237.
111. Tausz, M. The Measurement of Wood Decay in Landscape Trees / M. Tausz, D. Johnstone, G. Moore, M. Nokolas // *Arboriculture & Urban Forestry*. - 2010. - № 36 (3). - p. 121-127.
112. Wessenaer, P. A Review of Tree Risk Assessment Using Minimally Invasive Technologies and Two Case Studies / P. Wessenaer, M. Richardson // *Arboricultural Journal*. - 2009. - № 32 (4). - p. 275-292.

**Приложение**

## Приложение 1

УТВЕРЖДАЮ

Директор

ООО «Лесные инновации»

И.А. Гарус

«08» октября 2019 г.



## АКТ

о внедрении результатов  
кандидатской диссертационной работы  
Мухачевой Анастасии Николаевны

Комиссия в составе:

председатель Гаруса И.А..

члены комиссии: Даниленко О.К.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Мухачевой Анастасии Николаевны «Оценка воздействия антропогенных факторов среды на состояние дендроценозов города Братска неразрушающими методами контроля древесины», представленной на соискание ученой степени кандидата биологических наук по специальности 06.03.02 – лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация, использованы в качестве основной методики по оценке качества стволовой древесины в условиях городской среды на предприятии ООО «Лесные инновации»

1. Рекомендаций..по методике исследования качества стволовой древесины городских зеленых насаждений, выявление аварийных деревьев инструментальными методами..

Использование указанных результатов позволяет методически обосновать проведение исследований древесины городских насаждений, использовать данную методику при проведении дендрологической экспертизы.

Председатель комиссии -----  ----- Гарус И.А.

Члены комиссии: \_\_\_\_\_  \_\_\_\_\_ Даниленко О.К.

УТВЕРЖДАЮ  
 Генеральный директор  
 ООО «Импульс»  
 Клецко М.Ю.

15 сентября 2021 г.



АКТ  
 о внедрении результатов  
 кандидатской диссертационной работы  
 Мухачевой Анастасии Николаевны

Комиссия в составе:

председатель Клецко М.Ю.

члены комиссии: Гребенюк А.Л.

составили настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Мухачевой Анастасии Николаевны «Оценка воздействия антропогенных факторов среды на состояние дендроценозов города Братска неразрушающими методами контроля древесины» представленной на соискание ученой степени кандидата, использованы в оценке качества стволовой древесины на предприятия при организации отвода лесосек ООО «Импульс»

- 1 Экспериментальных данных по исследованию...
2. Методик расчета и моделирования..качества стволовой древесины.
3. Математической модели
- 4 Рекомендаций..по глазомерной оценке состояния отдельных перестойных деревьев на сопоставлении материалов инструментального контроля.

Использование указанных результатов позволяет: повысить качество отвода лесосечного фонда и эффективность контроля и учета .древесины.; повысить качество предоставляемых услуг; сократить затраты на проведение работ; повысить производительность труда при отводе лесосек.

Председатель комиссии \_\_\_\_\_ Клецко М.Ю.

Члены комиссии: \_\_\_\_\_ Гребенюк А.Л.