

ФГБОУ ВО «УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ЛЕСОТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*На правах рукописи*

**Нуриев Дмитрий Наильевич**

**СТРОЕНИЕ, РОСТ И СОСТОЯНИЕ ОЗЕЛЕНИТЕЛЬНЫХ  
ПОСАДОК БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ (BETULA PENDULA ROTH)  
В УСЛОВИЯХ Г. ЕКАТЕРИНБУРГА**

06.03.02 – Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная таксация

**ДИССЕРТАЦИЯ**

на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:  
доктор сельскохозяйственных наук,  
профессор Нагимов Зуфар Ягфарович

Екатеринбург – 2019

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1. Природно-климатические и экологические условия района исследований .....	8
1.1. Общие сведения .....	8
1.2. Климат .....	8
1.3. Радиационный режим .....	12
1.4. Гидрография и гидрологические условия .....	12
1.5. Рельеф и почвы.....	13
1.6. Экология города .....	15
2. Состояние вопроса .....	17
2.1. Характеристика условий городской среды .....	17
2.2. Роль зеленых насаждений в условиях города.....	20
2.3. Береза повислая в условиях городской среды .....	23
2.4. Таксация городских насаждений.....	28
3. Программа, методика и объем выполненных работ.....	30
3.1. Программа исследований.....	30
3.2. Основные положения методики исследований.....	30
3.3. Объем выполненных работ .....	38
4. Строение и рост городских озеленительных посадок березы повислой.....	40
4.1. Дифференциация и распределение деревьев березы по размерам ствола и кроны.....	40
4.2. Взаимосвязи таксационных показателей деревьев.....	56
4.3. Особенности роста деревьев .....	64
5. Таблицы объемов стволов березы повислой .....	80
5.1. Оценка возможности применения программно-измерительного комплекса на базе ГИС Field-Map для определения объема стволов растущих деревьев .....	80
5.2. Разработка таблиц объемов стволов .....	89
5.3. Оценка точности таблиц объемов стволов.....	98

6. Состояние озеленительных посадок березы повислой .....	103
6.1. Морфологические показатели листовых пластинок .....	103
6.2. Оценка состояния озеленительных посадок с использованием показателя флуктуирующей асимметрии листовых пластинок.....	111
Заключение .....	117
Список используемой литературы .....	122
Приложения .....	153

## ВВЕДЕНИЕ

**Актуальность темы исследований.** Зеленые насаждения в городах с большой концентрацией населения, промышленных объектов и транспорта играют исключительно важную роль. Они, являясь неотъемлемой частью планировочной структуры города и выполняя разнообразные экологические и социальные функции, формируют условия жизни человека. Полезные функции зеленых насаждений определяются их количественными и качественными характеристиками. Поэтому эффективность зеленого строительства во многом зависит от степени изученности закономерностей формирования, роста и развития насаждений в урбанизированной среде. Условия создания и произрастания городских озеленительных посадок определяют формирование насаждений, которые по многим таксационным показателям существенно отличаются от естественных. Это вызывает необходимость выявления отличительных особенностей строения и роста зеленых насаждений. Полученная при этом информация может служить основой для разработки и внедрения в практику инвентаризации городских посадок корректных таксационных нормативов, позволяющих прогнозировать формирование и рост зеленых насаждений и решать вопросы рационального ведения хозяйства в них.

В Екатеринбурге среди древесно-кустарниковых видов, используемых в системе озеленения, важное место занимает береза повислая (*Betula pendula* Roth). Она характеризуется достаточно большим участием в озеленительных посадках города, обладает быстрым ростом, относительно высокой устойчивостью к неблагоприятным факторам городской среды и декоративностью. Городские озеленительные посадки этого вида с таксационных позиций практически не изучены.

**Степень разработанности темы исследований.** В научной литературе имеется большое количество публикаций, посвященных эколого-биологическим особенностям березы повислой, ее устойчивости воздействиям отрицательных антропогенных факторов, в т.ч. в городских условиях (Кулагин, 1974; Николаевский, 1979; Неверова, 2002; Лищинская, 2003; Ковязин, Беляева, 2007; Блонская, Зотова, 2010; Менщиков и др., 2016; Гиниятуллин, 2019; и др.). Вместе с тем, во-

просы строения и роста озеленительных посадок березы изучены крайне недостаточно. Отсутствуют таксационные нормативы, необходимые для ведения зеленого хозяйства.

**Цель и задачи исследований.** Основная цель работы – оценка строения, роста и состояния городских озеленительных посадок березы повислой и разработка таксационных нормативов, необходимых для их инвентаризации.

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучение особенностей дифференциации и распределения деревьев березы по размерам ствола и кроны в городских посадках.

2. Исследование взаимосвязей между различными таксационными и морфологическими показателями деревьев.

3. Оценка возрастной динамики основных таксационных и морфологических показателей озеленительных посадок.

4. Обоснование возможности использования программно-измерительного комплекса (ПИК) на базе ГИС Field-Map для определения сбега и объема стволов растущих деревьев;

5. Разработка таблиц объемов стволов березы и таблиц возрастной динамики таксационных показателей городских посадок данного вида.

6. Исследование морфологических показателей и флуктуирующей асимметрии листовых пластинок березы.

7. Оценка состояния и устойчивости городских посадок березы.

**Научная новизна.** Впервые в городских озеленительных посадках березы выявлены особенности дифференциации и распределения деревьев по таксационным и морфологическим показателям и связь изменчивости этих показателей с шагом посадки и санитарным состоянием зеленых насаждений. Установлены характер взаимосвязей между размерами стволов и кроны и закономерности возрастной динамики основных таксационных показателей деревьев. Оценены точность определения сбега и объема стволов растущих деревьев с помощью ПИК Field-Map и возможность использования полученных ПИК данных для составления объемных таблиц. Доказано, что соотношения средних диаметров и высот в озе-

ленительных посадках по характеру и пределам изменения не укладываются в рамки разрядной шкалы естественных древостоев и предложен метод составления таблиц объемов на основе уравнения множественной регрессии. Исследовано влияние санитарного состояния деревьев на размеры, массу, форму и флуктуирующую асимметрию листовых пластинок и по величине последнего показателя оценено состояние и устойчивость озеленительных посадок. Впервые для городских посадок березы разработаны таксационные нормативы.

**Теоретическая и практическая значимость.** Результаты исследований расширяют современные знания о строении и росте городских озеленительных посадок березы и могут служить теоретической и информационной базой зеленого хозяйства города. Полученные количественные и качественные характеристики посадок березы, разработанные нормативы и регрессионные уравнения могут быть использованы при разработке планов озеленения городских территорий, проведении инвентаризации озеленительных посадок и проектировании в них хозяйственных мероприятий. Теоретические и прикладные результаты исследований используются в учебном процессе и научной работе ФГБОУ ВО УГЛТУ.

**Методология и методы исследований.** В основу работы положены комплексный подход и многоаспектный анализ городских посадок с применением апробированных методов таксации и оценки состояния деревьев и древостоев.

**Положения, выносимые на защиту:**

1. Городские озеленительные посадки существенно отличаются от естественных древостоев дифференциацией и распределением деревьев по размерам ствола и кроны, характером взаимосвязей между ними и возрастной динамикой таксационных показателей; особенности строения и роста городских посадок, позволяют считать их специфическим объектом таксации, требующим разработки для них специальной нормативной базы.

2. Результаты определения высоты и сбег стволы растущих деревьях с помощью ПИК Field-Map позволяют определить с достаточной точностью их объемы, которые могут служить экспериментальной основой для составления соответствующих таксационных нормативов.

3. Таблицы объемов стволов с тремя входными показателями (диаметром, высотой и коэффициентом формы  $q_2$ ), составленные с учетом специфики роста деревьев в городских посадках, обеспечивают при их таксации высокую точность.

4. Линейные размеры, форма, масса и флуктуирующая асимметрия листовых пластинок тесно связаны с санитарным состоянием деревьев; по величине флуктуирующей асимметрии можно объективно оценить состояние посадок.

**Достоверность и обоснованность результатов исследований** подтверждаются достаточным объемом экспериментальных данных, собранных с применением апробированных методик и использованием современных методов и прикладных компьютерных программ при их обработке и интерпретации полученных результатов.

**Апробация работы.** Основные результаты и положения исследований доложены на международных (Пенза, 2016, 2017; Екатеринбург, 2017, 2019; Москва, 2017, 2018) и всероссийских (Екатеринбург, 2016, 2018, 2019; Красноярск, 2019) научных конференциях.

**Публикации.** По теме диссертации опубликованы 13 работ, в т.ч. 2 в изданиях, рекомендованных ВАК РФ. Получено свидетельство о государственной регистрации базы данных.

**Личный вклад автора.** Автор принимал непосредственное участие в выборе методических подходов для решения программных вопросов, сборе экспериментальных материалов, их обработке, а также анализе, обобщении и апробации полученных результатов.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка литературы из 335 наименований (в т.ч. 22 на иностранных языках) и 3 приложений. Материал изложен на 171 странице, содержит 29 таблиц, 28 рисунков.

# 1. ПРИРОДНО-КЛИМАТИЧЕСКИЕ И ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

## 1.1. Общие сведения

Исследования проведены на территории муниципального образования «город Екатеринбург». Географическое положение города определяется координатами  $56^{\circ} 50'$  северной широты и  $60^{\circ} 35'$  восточной долготы. В соответствии с лесорастительным районированием город расположен в границах южно-таежного лесорастительного округа зауральской холмисто-предгорной провинции Западно-Сибирской равнинной лесорастительной области (Колесников и др., 1974). По озеленительному районированию Урала территория города отнесена к зоне 2 – умеренно-холодной с различной степенью увлажнения (Мамаев, Петухова, 1961).

Екатеринбург является одним из крупнейших административных, культурных, промышленных и научно-образовательных центров страны. Площадь города составляет 1143 га (Решение..., 2010). Численность населения – 1,47 млн чел.

## 1.2. Климат

В г. Екатеринбурге и его окрестностях климат умеренно континентальный. Одной из характерных черт района являются существенные годовые и суточные колебания большинства метеорологических показателей (Халевицкая, 1981; Кобышева и др., 2001). Так, годовая амплитуда средних месячных температур воздуха самого теплого и самого холодного месяцев в году составляет  $33^{\circ}\text{C}$ .

Город расположен на восточном склоне Уральского хребта и подвергается особому влиянию макрорельефа местности. Являясь естественной преградой для господствующего западного переноса воздушных масс, Уральский хребет оказывает влияние на характер формирования облачности, осадков, температуры воздуха и других метеорологических показателей. Поступающие воздушные массы формируются из морского воздуха умеренного и арктического поясов. В это же время, расположенная с востока Западно-Сибирская равнина, создает условия для проникновения холодных воздушных масс Арктики с севера и теплых масс При-

каспия и Средней Азии с юга. Данные условия оказывают существенное влияние на формирование характерной уральской погоды с непредсказуемыми колебаниями температур зимнего и летнего периодов года. При этом наибольшую роль в формировании климата проявляет циклоническая деятельность на арктическом фронте зимой и возврат холодов с севера летом.

Климатические показатели на территории города несколько отличаются от показателей его окрестностей. Помимо влияния условий городской среды (наличие зданий, чередование направлений улиц и т.д.), существующий заградительный барьер лесопаркового кольца (15 лесных парков общей площадью 12486 га) обеспечивают более мягкий климат города (Шевелина и др., 2008). В это же время в пределах города, микроклимат районов различается в зависимости от особенностей рельефа, ветрового режима, наличия водных объектов и некоторых других условий (Архипова, 2007). Особое влияние на его формирование оказывают промышленные предприятия и интенсивность движения автомобильного транспорта.

Среднегодовая температура воздуха в г. Екатеринбурге составляет  $2,6^{\circ}\text{C}$  (табл. 1.1). Средняя многолетняя температура самого холодного месяца в году (января) равна  $-13,6^{\circ}\text{C}$ , а самого теплого (июля) составляет  $18,5^{\circ}\text{C}$ . Абсолютное минимальное (для января) и максимальное (для июля) значения температуры воздуха составляют  $-43,7$  и  $38,8^{\circ}\text{C}$ , соответственно. Большой вегетационный период в среднем длится 162 дня (с 23 апреля до 3 октября), а малый – 119 дней (с 15 мая по 12 сентября). Период с среднесуточными температурами воздуха выше  $0^{\circ}\text{C}$  продолжается в среднем 196 дней, преимущественно, с 6 апреля по 20 октября. Продолжительность безморозного периода по среднемноголетним данным длится 90–117 дней (Архипова, 2007; Садоков и др., 2012).

К неблагоприятным климатическим факторам, отрицательно влияющим на рост и развитие древесных растений, относятся поздние весенние и ранние осенние заморозки, короткий вегетационный период с весьма малым количеством ясных и сухих дней (Кувшинова, 1968). Ежегодно на территории города отмечаются заморозки в начале сентября и мая. Причем их появление на повышенных местах заканчивается обычно раньше на 10–15 дней (Морокова, Швер, 1981).

Таблица 1.1 – Основные климатические показатели района исследований

Месяц	Температура воздуха, °С			Относительная влажность воздуха, %	Количество осадков, мм	Скорость ветра, м/с	Высота снежного покрова, см
	средне-многолетняя	абсолютный максимум	абсолютный минимум				
Январь	-13,6	5,6	-43,7	80	21	3,1	33
Февраль	-11,6	9,4	-42,4	75	14	3,2	38
Март	-4,2	17,3	-39,2	71	22	3,3	33
Апрель	4,4	28,8	-21,8	64	24	3,4	–
Май	11,1	33,4	-13,5	58	51	3,1	–
Июнь	16,9	35,6	-5,3	60	69	2,9	–
Июль	18,5	38,8	1,5	68	84	2,6	–
Август	15,3	37,2	-1,0	72	76	2,6	–
Сентябрь	9,5	31,9	-9,0	75	46	3,2	–
Октябрь	2,4	24,7	-26,6	77	35	3,5	3
Ноябрь	-6,3	13,5	-39,2	79	33	3,5	12
Декабрь	-10,7	8,6	-46,7	81	32	2,9	25
Год	2,6	38,8	-46,7	72	507	3,1	–

Среднегодовое значение атмосферного давления составляет 750 мм рт. ст. Причем наибольшие значения данного показателя наблюдаются в декабре–феврале, что обусловлено наличием сибирского антициклона. Наименьшие значения атмосферного давления отмечаются в летний период (с июля по август).

Наибольшие значения относительной влажности воздуха наблюдаются в зимний период, когда они достигают от 75 до 80%. В весенне-осенний период года этот показатель в среднем составляет 67% с минимумом в мае.

Преобладающим направлением ветров в течение всего года является западное, с повторяемостью от 18 до 30% в месяц. Наибольшее число их приходится на зимний период, когда также часты ветра юго-западного и юго-восточного направлений. Они играют главную роль в формировании климата района (Кувшинова, 1968). Наиболее редки ветры восточного и северо-восточного направлений. Летом преобладают западные, северо-западные и северные направления ветров. Наиболее часты умеренные ветры со среднегодовой скоростью около 3 м/с.

Среднегодовое количество осадков составляет около 510 мм, причем наибольшая их часть (около 65%) приходится с мая по сентябрь. Из годовой сум-

мы осадков в среднем на долю твердых приходится 24%, жидких – 65% и смешанных – 11%. Наименьшее количество осадков выпадает в феврале (14 мм), с апреля начинается их постепенное увеличение до максимума в июле (84 мм). Затем вновь происходит уменьшение их количества. С октября по март характерны обложные виды осадков. Продолжительность выпадения осадков наибольшая в осенне-зимний период, наименьшая – в весенне-летний. Среднемноголетняя суммарная продолжительность выпадения осадков в течение года составляет 1325 ч, а среднее количество дней с осадками – около 230.

Накопление снежного покрова происходит, как правило, постепенно. Средние значения его появления и схода приходятся на 14 октября и 8 апреля, соответственно. Образование устойчивого снежного покрова в среднем наступает 6 ноября, полный сход снега – 25 апреля. Максимальное среднемноголетнее значение высоты снежного покрова приходится на февраль (38 см).

Типичными атмосферными явлениями на территории города являются туман и дымка, которые могут появляться на протяжении всего года. При этом туманы в зимний период (с октября по март), в связи с наличием более благоприятных условий для их возникновения, наблюдаются чаще, чем в летний. Среднее количество дней в году с туманами составляет 12, из них наибольшее число приходится на январь (7 дней), а наименьшее – на май (1 день). Более часто проявляется другое атмосферное явление – дымка. В среднем на протяжении года бывает 113 дней с дымкой, причем максимальное их число приходится на январь (16 дней), а минимальное – так же как и туманы, на май (4 дня).

Температурный режим почвы зависит от многих факторов: типа и механического состава почвы, ее влагоемкости и состояния поверхности. Самые низкие среднемесячные температуры на поверхности почвы (от -16 до -18°C) отмечаются в январе. В этот период нулевая изотерма достигает глубины 80 см. При этом на глубине 160 см, как правило, температура не опускается ниже 0°C. Под снежным покровом среднее значение глубины промерзания почвы составляет 95 см.

### 1.3. Радиационный режим

Наиболее важной характеристикой радиационного режима является продолжительность солнечного сияния, определяющая характер и режим освещенности, прогревания почвы и воздуха. Среднегодовое значение данного показателя в центре г. Екатеринбурга составляет 1781 ч, а на окраинах города – 1940 ч. Максимум продолжительности наблюдается в июне–июле, минимум – в декабре.

Наибольшее число солнечных дней приходится на период с мая по август (около 30). Продолжительность свечения в летний период года продолжается в основном с 3 до 21 часа, в зимний период – с 9 до 16 часов.

Суммарная освещенность имеет четко выраженный суточный ход с максимумом около полудня и двумя минимумами (во время восхода и захода солнца). Это значение в дневное время суток состоит из около 50% рассеянной части (максимум наблюдается при наличии солнца и кучевых облаков), а в утреннее и вечернее время – до 60–70% (Морокова, Швер, 1981).

В годовом ходе наибольшие значения суммарной освещенности наблюдаются в мае–июле, минимальные – в декабре. Из суммарного освещения доля рассеянного преобладает в зимние месяцы, составляя в среднем 73%, и снижается в мае–июле до 46–49%. На освещенность в городе существенно влияет запыленность и задымленность атмосферного воздуха.

### 1.4. Гидрография и гидрологические условия

Главной водной артерией г. Екатеринбурга является река Исеть – крупный левый приток Тобола, общей протяженностью около 700 км, а в пределах города – 40 км. Она имеет несколько небольших притоков, в т.ч. реки Исток и Патрушиха. Остальные притоки имеют переменный сток или заключены в подземные каналы. Исеть на своем пути образует несколько прудов, из них наиболее крупные: Верх-Исетский (длина – 10,0 км, ширина – 2,6 км, площадь зеркала воды – 15,2 км<sup>2</sup>), Городской (длина – 3,3 км, ширина – 0,3 км, площадь – 0,6 км<sup>2</sup>) и Нижне-Исетский (длина – 4,4 км, ширина – 0,8 км, площадь – 2,7 км<sup>2</sup>).

В окрестностях города речная сеть достаточно разветвленная и включает ис-

токи рек. Наряду с речной сетью в гидрографии района особую роль играют озера Шарташ (длина – 4,0 км, ширина – 2,2 км, площадь зеркала воды – 7,4 км<sup>2</sup>) и Шувакиш (длина – 2,0 км, ширина – 1,1 км, площадь – 1,7 км<sup>2</sup>). Земли водного фонда составляют 3,8% от общей площади муниципального образования.

В окрестностях г. Екатеринбурга по понижениям рельефа расположены болота. Часть их образовалась за счет зарастания озер (например, Шувакишского, Карасье-Озерского), другая часть возникла в результате заболачивания.

Наличие прудов на пути русел рек в значительной мере сказывается на их естественном режиме. Пруды обеспечивают невысокий подъем уровня воды весной и значительно растягивают сроки замерзания рек. Весенний подъем вод, начинающийся с середины апреля, и осенний ледостав (в середине октября) у рек на территории города делятся заметно меньше, чем в его окрестностях. В зимний период в черте города р. Исеть в некоторых местах не замерзает.

Грунтовые воды в г. Екатеринбурге располагаются на разных глубинах. В поймах рек их глубина залегания обычно не превышает 100–120 см, это наиболее высокие глубины их залегания. Среди кристаллических горных пород подземные воды находятся на значительно большей глубине.

### **1.5. Рельеф и почвы**

Город Екатеринбург расположен в центральной части Евразийского материка, приблизительно на границе восточных предгорий Среднего Урала и Зауральской возвышенности, где средняя высота гор не превышает 280–350 м. Данная территория относится к полосе низких восточных предгорий, а непосредственно в городе по большей части представляет из себя вытянутые в меридиональном направлении увалы, которые чередуются понижениями рельефа. Наибольшая часть территории города в отношении рельефа местности представляет выровненную поверхность, имеющую небольшой уклон на восток.

Геологическое строение Екатеринбурга и его окрестностей отличается большой сложностью. Наиболее распространенными горными породами являются породы магматического происхождения, зачастую граниты. На территории города

имеются особые, связанные с деятельностью человека (антропогенные) формы поверхности, привязанные к месторасположениям гранитных массивов. Разнообразие геоморфологического строения местности определяют структуру почвенного покрова (Каменский, 1958; Гафуров, 2008).

В окрестностях г. Екатеринбурга самыми распространенными почвами являются дерново-подзолистые, которые сформировались под сосново-березовыми лесами. Непосредственно на территории города они несут следы воздействия хозяйственной деятельности: наблюдается уплотнение верхних горизонтов, слабокислая реакция, обедненность гумусом. Более половины площади города занимают насыпные почвы (Головина, Шаркунова, 1962). Они характеризуются как очень плотные и тяжелые, отличаются низким плодородием. С увеличением численности населения города и развитием промышленности, городская среда, в том числе почвы, все больше подвергаются техногенному загрязнению и изменению морфологического состава (Алексеев, 2000). В результате постоянного осаждения пыли в некоторых местах имеет место слабое защелачивание (Сродных, Нечаева, 2008). Почвы окрестностей города более разнообразны (Гафуров, 2008).

На территории, где в настоящее время располагается современная часть города, до его основания располагались смешанные леса на подзолистых почвах, а в понижениях рельефа – сосняки на торфяных почвах (Каменский, 1958). Подобные торфяники, в настоящее время засыпанные мощным слоем из песка и галечника, наблюдаются в историческом центре Екатеринбурга.

Наибольшую площадь города занимают засыпанные глины и суглинки различной мощности, наблюдается преобладание дерново-подзолистых почв; на склонах они характеризуются щебневато-каменистыми включениями.

Таким образом, на большей части города, в т.ч. в его селитебной части, распространены насыпные и перемешанные почвы и почвогрунты – урбаноземы. Все улицы центральной части города, а также наибольшее число улиц его окраин в настоящее время заасфальтированы. Наличие открытого естественного грунта свойственно лишь для территории парков и скверов.

## 1.6. Экология города

По степени развития промышленности и численности населения в настоящее время, как и с самого своего основания, г. Екатеринбург существенно контрастирует на фоне других городов Урала (Каташинских, Багирова, 2012). По состоянию на 2013 год численность парка автомобилей в Екатеринбурге занимало первое место по стране – 450 шт. на 1000 чел. (Иматова, Прядилина, 2014). На территории города расположено более 700 металлургических, химических и иных предприятий, значительная часть из которых оснащена устаревшим газоочистительным оборудованием. Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу города в год составляют свыше 31000 т, из них по свинцу – более 1600 т, по меди – более 2000 т, по хрому – около 200 т (Устенко, 2018).

В последние годы на территории города отмечаются высокие уровни загрязнения воздуха по многим вредным веществам, которые входят в состав выбросов тепловых электростанций и выхлопных газов автомобильного транспорта, а именно: аммиак, формальдегид, фенол, оксид и диоксид азота, оксид углерода. Их концентрации часто многократно превышали среднесуточные значения ПДК (Шмаков, Цыпушкина, 2015; Ковина и др., 2016; Найданова и др., 2016; Шестакович и др., 2016). Подобное состояние атмосферного воздуха несомненно сказывается на состоянии здоровья населения и санитарном состоянии древесных растений.

В условиях непрерывно растущих антропогенных нагрузок и загрязнения окружающей среды выбросами промышленных предприятий и автомобильного транспорта, особо важное значение имеет озеленение населенных мест (Chiesura, 2004). Однако достаточно долгое время в истории г. Екатеринбурга озеленению уделялось недостаточное внимание (Сафронова, 2013). В настоящее время площадь озеленения объектов общего пользования на территории города в среднем составляет 5,2 м<sup>2</sup>/чел. без учета уличных посадок (Аткина, Булатова, 2017) и 20,1 м<sup>2</sup>/чел. – с их учетом (Федосеева и др., 2011). Эти цифры ниже нормативных показателей. С учетом лесопарков, площадь озеленения города составляет 87,8 м<sup>2</sup>/чел., что также ниже рекомендуемого значения (Булатова, Сродных, 2017).

**Выводы по главе:**

1. Климат района исследований умеренно континентальный, с холодной зимой, прохладным летом, резкой изменчивостью погодных условий. Рельеф характеризуется как увалисто-холмистый, с отметками высот от 280 до 350 м.

2. Наиболее распространенными почвами являются дерново-подзолистые, которые непосредственно в городской черте характеризуются следами антропогенного воздействия (уплотнение верхних горизонтов, слабокислая реакция, обедненность гумусом). На большей части города распространены насыпные и перемешанные почвы и почвогрунты – урбаноземы, отличающиеся крайне низким плодородием и высокой степенью уплотненности.

3. Экологическая обстановка в городе сложная. Воздух и почвы загрязнены выбросами промышленных предприятий и автомобильного транспорта. Концентрации вредных веществ в воздухе часто многократно превышают значения ПДК. В то же время площади зеленых насаждений, призванных выступать в качестве фитофильтра, ниже нормативных показателей.

4. В целом климатические, почвенные и экологические условия в городе, безусловно, сказываются на росте древесных растений. Они совместно с ценоотическими факторами, обусловленными особенностями создания озеленительных насаждений, определяют специфику роста деревьев и древостоев.

## 2. СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА

### 2.1. Характеристика условий городской среды

Условия для роста древесных растений на территории города по сравнению с естественными условиями сильно отличаются практически по всем экологическим параметрам. Факторы ее воздействия оказывают ощутимое влияние, как на экологические системы, так и на организм человека (Демиденко, 2015).

В отличие от естественных насаждений, подверженных техногенному загрязнению, зеленые насаждения в условиях города не представляют собой единую экосистему (Клауснитцер, 1990; Старченко, Тимченко, 2012).

На территории города, как правило, наблюдаются более высокие среднегодовые температуры воздуха по сравнению с его окрестностями. В среднем это значение составляет  $5^{\circ}\text{C}$ . С удалением от центра к периферии города, степень этого воздействия снижается (Ишерская, Фетисов, 1974).

Немаловажное значение для растений и человека имеет пониженная относительная влажность воздуха, преимущественно заметная в летний период, когда разница данного показателя в городе по сравнению с его окрестностями может достигать до 15% (Одум, 1986; Макальская, 1998; Бухарина, Двоеглазова, 2010).

Благодаря специфичной городской архитектуре и планировки территории, для города типичны ветра с повышенной скоростью воздушных масс, характеризующиеся турбулентными завихрениями (Тетиор, 2008). Наличие выделяющегося тепла над центром города способствует образованию особой системы ветров, имеющих направление преимущественно от периферии к центру, что препятствует быстрому удалению поллютантов из воздуха (Владимиров и др., 1986).

Задымление и запыленность воздуха вследствие выбросов автотранспорта и промышленных предприятий обуславливает частое появление смога, который в свою очередь способен задерживать до 20% солнечной радиации (Чистякова, 1988; Неверова, 2001; Курбатова и др., 2004). В то же время в районах с многоэтажной застройкой растения испытывают прямое затенение (Бухарина и др., 2007). При этом искусственное освещение улиц, как правило, не оказывает ощу-

тимого влияния на процессы фотосинтеза древесных растений, однако воздействует на их фотопериодические реакции (Владимиров, 1982; Басыйров, 2013). В некоторых случаях возможно некоторое увеличение периода вегетации, что ведет к ускорению процессов старения (Ведерников, 2008).

Одной из основных особенностей условий городской среды является наличие почв, характеризующихся отсутствием естественных горизонтов, их перемешиванием, наличием в составе различных примесей и измененным элементным составом – урбаноземов (Неверова, Колмогорова, 2003). Загрязнение тяжелыми металлами характерно чаще всего лишь для поверхностного слоя почвы, однако повышенный уровень содержания микроэлементов проявляется уже на большей глубине (Negemeyer, 1999; Груздева и др., 2008; Рылова, Кузнецов, 2005). Урбаноземам присущи термометаморфизация и искусственное уплотнение, что влечет за собой ухудшение воздушного режима и уменьшение водопропускной способности, экскавация, некоторая степень засоления в виду попадания противогололедных реагентов в зимний период, пониженный уровень гумуса (Хазанов, 1975; Спиридонов, 1983; Соловьева и др., 2011; Ковалева и др., 2012; Тютюнник, 2014).

В условиях города отмечается особая специфика автотранспортного загрязнения: благодаря высоким темпам роста числа автомобилей и их пространственной рассредоточенности, создаются участки с постоянным превышением норм санитарно-гигиенических правил (Денисов, Рогалев, 2005; Суслов, 2011; Иматова, Прядилина, 2014). Основными канцерогенными веществами, входящими в состав выхлопных газов автотранспорта являются диоксид серы, оксид углерода, оксид азота и углеводороды, в т.ч. бензапирен и соединения свинца (Алексеев и др., 1996; Христофоров, Сакович, 2012). Кроме того, автомобильные дороги являются одним из источников образования пыли в приземном слое воздуха (Евгеньев, Каримов, 1997; Немчинов и др., 2004; Силуков, 2004). При этом наихудшее состояние зеленых насаждений отмечается в узкой зоне на расстоянии до 25 м от автодорог (Состояние..., 1990).

Вследствие промышленного использования грунтовых вод снижается их уровень, а в результате отвода части атмосферных осадков через систему ливневой канализации происходит уменьшение их объема. Благодаря этому может

наблюдаться недостаток почвенной влаги (Kasperidus, 2002). Однако на наступления водного дефицита более значимо влияет совокупность погодных условий, выраженных в высокой температуре и пониженной относительной влажности воздуха на протяжении длительного времени (Гиниятуллин, Кулагин, 2015).

Отрицательное влияние в городских условиях на растения оказывают следующие факторы: специфические экологические условия городской среды, нарушение технологии посадки, бедность и уплотненность почвы, а также антропогенные факторы (Горышина, 1991). Под их воздействием происходит снижение жизнеспособности деревьев, благодаря чему насаждения хуже выполняют санитарно-защитные функции (Вергунов, 1980; Владимиров, 1999). Именно техногенные нагрузки определяют уровень загрязнения среды (Ганаба, 2015). Это обуславливает необходимость в постоянном контроле за санитарным состоянием насаждений (Тарасова, 2013).

В условиях высоких концентраций промышленных выбросов у древесных растений наблюдается укорачивание линейного прироста побегов, уменьшение размеров ассимиляционного аппарата, появление некрозов и хлорозов на листьях, а также сокращение жизни (долговечности) деревьев (Николаевский, 1999; Машинский, Теодоронский, 1999). Происходит изменение большинства таксационных показателей, что влечет изменение строения и динамики насаждений (Мироненко, 1988; Ситникова, 1990; Алексеев, 1993; Черненко, 2002). Наступают заметные изменения габитуса и ухудшение физиологического состояния отдельных морфологических структур (Илькун, 1971).

Высокие концентрации тяжелых металлов в листьях могут привести к их ксерофитизации и задержке роста (Голубева, 1999; Неверова, Колмогорова 2002). В большинстве случаев под их воздействием происходит снижение фотосинтезирующей способности (Шуберт, 1982). Это проявляется через пониженное содержание пигментов хлорофилла на протяжении большей части вегетационного периода (Васфилов, 1991). При этом наблюдается изменение размеров листовых пластинок с увеличенной плотностью расположения устьиц, утолщенной кутикулой и уменьшенным размером клеток (Неверова, Колмогорова, 2002; Залесов и др., 2014).

## 2.2. Роль зеленых насаждений в условиях города

Результаты изучения средоулучшающей роли зеленых насаждений отражены в трудах многих ученых (Кулагин, 1974; Илькун, 1978; Антипов, 1979; Николаевский, 1979; Dochinger, 1980; Кулагин, 1994; Сергейчик, 1997; Фролов, 1998; Неворова, Колмогорова, 2003; Мусин и др., 2006; McPherson, 2006; Бухарина, 2008; Россина, 2010). Озеленительные посадки в пределах города выполняют санитарно-гигиеническую, рекреационную и декоративную (эстетическую) функции. Зеленые насаждения занимают важное место в смягчении факторов техногенного воздействия на окружающую среду и человека (Бухарина, 2007).

Зеленые насаждения способны увеличивать относительную влажность воздуха до 2–8% и снижать его температуру до 4–6°C (Краснощекова, 1987; Мальков, 1987; Горышина, 1991). Суммарное количество солнечной радиации под пологом в 8 раз ниже, чем на открытом месте (Владимиров и др., 2004). Совокупность данных условий способствует созданию комфортной среды для человека.

Выполнение функции ветрозащиты зависит от формы и плотности размещения деревьев в посадках. Максимальный эффект наблюдается при ветре со скоростью до 8 м/с (Глазунов, 2001; Захаров, Суховольский, 2002). Простые по конструкции, чистые по составу насаждения не способны оказывать существенного влияния на скорость ветра (Городков, Фурина, 2008).

В условиях города важное значение также имеет шуморегулирующая функция зеленых насаждений (Городков, 1989). При удалении от дороги на 50 м листовые насаждения способны снижать уровень шума на 4 дБ (Осипова, Теодоронский, 1984; Городков, 2003). При этом шумозащитная способность зависит не столько от вида древесного растения, сколько от ярусности и сомкнутости крон, в то время как высота насаждения и шаг посадки играют меньшую роль (Гордеев, Кулагин, 2014). Например, насаждения со сложной структурой способны снижать уровень шума в период вегетации на 13% (Лисина, 2012).

Зеленые насаждения способны аккумулировать до половины объема поступающих в экосистему загрязняющих веществ (Покровская, 1973; Кулагин, 1974; Болтнева и др., 1978; Смит, 1985; Vache, 1979; Кулагин, 2005). Эта способность

древесных растений накапливать в своих органах и тканях часть поллютантов, используется человеком в течение долгого времени. Древостои вблизи источников аэротехногенных загрязнений выступают как особого рода фитофильтр, призванный локализовать и обезвредить поступающие в атмосферу выбросы (Кулагин, Сергейчик, 1982; Кулагин, 1985; Харитонов, 1984). Однако у древостоев, расположенных на территории населенных пунктов, эта функция в большей мере проявляется лишь в приземном слое воздуха в теплое время года (Илькун, 1978).

Поглощение и накопление химических элементов древесными растениями видоспецифично и определяется избирательностью данных процессов в зависимости от вида поллютанта и процессов его транслокации (Неверова, 2001; Павлов, 2003; Безель, 2006; Ведерников и др., 2009; Завьялов, 2013). Однако общая картина подобного влияния во многом определяется биологическими особенностями вида, в т.ч. его газоустойчивостью (Горышина, 1979; Тарабрин и др., 1986).

Береза повислая считается одним из наиболее эффективных видов по интенсивности связывания токсичных соединений (Макарова, 2013). По данным Ю.З. Кулагина (1974) зеленые насаждения березы способны нейтрализовать 25 г (на 5 кг зеленой массы) оксида серы, 25 г оксида азота и 5 г солей аммония. При этом поглощение листьями березы тяжелых металлов имеет сезонную динамику с максимумом в середине вегетации (Денисова, 2006). На скорость их поглощения оказывают влияние физико-химические свойства почвы и стадия развития растения (Zekoniene, Rutkoviene, 1997; Белоголова, Матяшенко, 2005).

Характеристика листовой массы является важным критерием, позволяющим выявлять возможности растений улучшать состояние воздуха (Беляева, Николаевский, 1989; Чернышенко, 2001, 2002; Неверова, Колмогорова, 2003; Мозолевская, 2008). Это объясняется ее высокой физиологической активностью (Коршиков, 1996). Пылеудерживающая способность зависит от видового состава насаждений и фитомассы крон деревьев, а также расположения листовых пластинок относительно источника загрязнения и их морфологии: морщинистые, опушенные или покрытые воском листья обладают большей пылеудерживающей способностью (Кулагин, 1974; Пихтовникова, Аткина, 2016). Немаловажное значение при про-

явлении этой способности играет и физиологическое состояние листьев (Бухарина, Двоеглазова, 2010). Зеленые насаждения по сравнению с открытыми пространствами способны задерживать до 42 и 37% пыли в летний и зимний периоды года, соответственно (Лунц, 1974; Городков и др., 1988). На массу удерживаемой листовой поверхностью растений влияет количество и частота выпадения атмосферных осадков (Сафронова, Аткина, 2010; Сафронова, 2013). Так, одна листовая пластинка березы повислой способна удержать в среднем 0,019 г пылевидных частиц (Беяева, 2015). Часть пыли задерживается и другими органами деревьев, в т.ч. поверхностью ствола и ветвей (Денисов, 1977).

Зеленые насаждения обладают способностью к ионизации воздуха и насыщению его фитонцидами, оказывающими противомикробное действие (Токин, 1980; Кочергина, 2003; Слепых, 2010). Благодаря городским насаждениям возможно поддержание общего физиологического и психофизического состояния населения (Шумовская, 2000; Бухарина и др., 2012). Считается, что разнообразие городского пейзажа, достигаемое посредством зеленых насаждений, способно снижать стресс за счет повышения уровня зрительного и эстетического комфорта (Головей, Горнова, 2014; Луганская, 2017).

Декоративные функции зеленых насаждений подразделяются на две группы: ландшафтообразующие и планировочные (Добронравова, Павлова, 2005). Являясь органической частью планировочной структуры города, зеленые насаждения активно участвуют в создании ландшафтов жилых районов. Планировочные функции зеленых насаждений заключаются в организации городских территорий. Рекреационная функция состоит в создании условий для отдыха, оздоровления и восстановления сил населения (Горохов, 1991; Кучерявий, 2008; Жихарева, 2014).

В городских условиях ассимиляционный аппарат имеет особое значение, его развитие определяет эффективность озеленительных посадок с точки зрения поглощения углекислого газа и выделения кислорода, осаждения пыли, снижения уровня шума, а также их эстетическую ценность (Феклистов, 2004). Характер развития и функционирования ассимиляционных органов деревьев является одним из показателей их санитарного состояния и потенциальных возможностей (Зале-

сов, Бачурина, 2008). Он определяет рост и развитие других органов растения (Правдин, 1964). Это наиболее чувствительный орган, стремительно реагирующий на внешние изменения состояния окружающей среды.

Морфологические показатели ассимиляционного аппарата деревьев являются одной из наиболее адекватных характеристик их санитарного состояния (Серебряков, 1962). Среди данных характеристик важное значение имеет площадь листовой поверхности (Аткина и др., 2007; Игнатова, 2007; Ворожнина и др., 2011; Аткина, Игнатова, 2012). Размер листовых пластинок характеризует общую продуктивность особи (Мигалина и др., 2010). Площадь поверхности листа может быть величиной довольно постоянной для вида, изменяясь в зависимости степени влияния негативных факторов среды (Костюкевич, 1974; Беляева, Николаевский, 1989; Николаевский и др., 1998). Форма листьев является не только наследственным признаком вида или даже систематической группы, но и отражает связь с условиями обитания (Васильев и др., 1988). В этом отношении древесные растения способны выступать в роли индикаторов качества окружающей среды (Гетко, 1989). При этом значительные расхождения в форме листовых пластинок обнаруживаются при их изучении в сезонной динамике (Уткин, Ермолова, Уткина, 2008). Наибольшая изменчивость данного показателя у древесных растений фиксируется именно в условиях городской среды (Корона, Васильев, 2007).

### **2.3. Береза повислая в условиях городской среды**

Устойчивость деревьев березы повислой в условиях непрерывного влияния негативных факторов антропогенного воздействия изучалась многими авторами. Некоторые исследователи оценивают ее как весьма газочувствительную породу (Красинский, 1950; Николаевский, 1979; Булыгин, 2001). Однако результаты исследований многих других авторов позволяют судить о березе повислой как о виде, полезном к использованию для озеленения территорий города и промышленных центров и характеризующуюся как относительно газостойчивый вид (Малютин, 1960; Булгаков, 1961; Мамаев и др., 1979). Отмечается хорошая устойчивость березы к загазованности серным ангидридом (Roger, 1981) и двуокисью серы

(Чуваев и др., 1973). Ее рекомендуется использовать для создания культур в условиях загрязнения промышленными выбросами (Чурагулова, 2003).

Береза повислая имеет удовлетворительное состояние при росте в условиях значительного запыления и задымления (Антипов, 1979). Это можно наблюдать на территориях крупных населенных пунктов, таких как г. Екатеринбург (Выварец и др., 2006). Благодаря высокой экологической пластичности, березовые насаждения способны устойчиво произрастать на разнообразных объектах озеленения, отличающихся степенью загрязненности (Неверова, 2002; Ковязин, Беляева, 2007). В возрасте более 25 лет на морфологическое развитие березы в большой степени оказывает влияние пространственная структура насаждений (Авдеева, 2008а). По данным О.С. Артемьева (2018) береза обладает высоким потенциалом к выполнению комплекса санитарно-гигиенических функций – оценивается в 6,7 баллов из 10, что является одним из лучших показателей среди пород, массово применяемых в озеленении городов Уральского региона.

В целом, береза относится к деревьям малотребовательным к плодородию почв (Пономарев, 1933; Ткаченко, 1952; Шиманюк, 1964; Громадин, Матюхин, 2013). Она успешно переносит высокую кислотность почв (Харитонович, 1968). Оптимальный показатель рН почв для стабильного произрастания березы находится на уровне 5,0–6,5 (Гродзинский, Гродзинский, 1973). Корневая система березы способна выдерживать уплотнение почвы до 1,3–1,4 г/см<sup>3</sup> (Мамаева, 1990).

Береза повислая характеризуется как довольно засухоустойчивый и светолюбивый вид (Кулагин, 1961; Булыгин, 2001). Она обладает достаточной морозо- и заморозкоустойчивостью (Сергеева, 1971).

Важно отметить, что береза является быстрорастущей породой, благодаря чему появляется возможность за относительно короткий срок добиться формирования массива насаждений (Блонская, Зотова, 2010; Тишин, 2011).

В условиях техногенной среды у березы повислой отмечается удлинение морфологических структур годичного прироста побегов за счет увеличения числа метамеров (Турмухаметова, 2006; Ведерников, Бухарина, 2010). Техногенные условия оказывают влияние и на сокращение периода вегетации за счет более

раннего прохождения осенних фенофаз, благодаря чему наблюдается более ранний отток макроэлементов из листьев (Куприянова, 1970; Васфилов, 1988). Под влиянием высокой конкурентной нагрузки у березы формируются компактные кроны с большим числом мелких листьев, что обеспечивает достаточно высокую ассимилирующую поверхность (Калашникова и др., 2011).

Количество автотранспорта на дорогах, расположенных вблизи березовых насаждений, влияет на скорость выхода деревьев из состояния зимнего покоя, что объясняется снижением реакции биологических систем при ухудшении состояния гомеостаза (Huttunen и др., 1981; Гаркави и др., 1998; Ерофеева, 2010). Вместе с тем происходит сокращение критических периодов развития, связанных с формированием генеративных структур, сдвиг фенологических ритмов (Ведерников, Бухарина, 2007; Ведерников, 2008; Бабурин, Морозова, 2009). У деревьев березы, произрастающих вблизи автомобильных дорог, отмечается снижение синтеза первичных и вторичных метаболитов (Колмогорова и др., 2012). На проникновение в клетки токсичных веществ остро реагируют как различные ферменты (в т.ч. пероксидаза, принимающая участие во многих процессах роста и развития растения), так и низкомолекулярные антиоксиданты, в т.ч. аскорбиновая кислота (Кения и др., 1993; Djakovic, Jovanovic, 2002; Рогожин, 2004; Cheeseman, 2007).

На степень резистентности березы к поражению фитовредителями влияет степень антропогенной нагрузки (Rosso, Hansen, 1998). За счет применения при озеленении посадочного материала семенного происхождения, пораженность деревьев гнилью в целом меньше по сравнению с березняками порослевого происхождения (Колтунов, 2016). В условиях стресса у деревьев березы также происходит снижение их устойчивости к энтомовам вредителям (Колтунов, Клобуков, 2009).

С увеличением загрязнения атмосферного воздуха у листьев березы наблюдаются повышенные показатели зольности и содержания сульфатной серы (Петункина, Сарсацкая, 2015). При этом ее листья способны снижать потери воды и увеличивать водоудерживающую способность (Николаевский, 2002; Бухарина, 2008). Причем влажность листьев зависит от положения в кроне: с поднятием вверх по вертикальному профилю кроны значение данного показателя уменьша-

ется (Амосова, Феклисов, 2010). Подобная тенденция характерна и для морфологических размеров листовой пластинки (Нуриев, 2017). При высоких рекреационных нагрузках, в т.ч. возникновении стихийной тропиной сети внутри насаждений, происходит повышение интенсивности синтеза фенольных соединений, что обусловлено защитной реакцией деревьев (Кавеленова и др., 2001; Теодоронский, Боговая, 2003; Теодоронский и др., 2006; Яковлева, 2017).

Морфологические показатели листовой пластинки березы повислой способны фиксировать текущую реакцию на факторы окружающей среды, в т.ч. на интенсивность движения автотранспорта (Рунова и др., 2007; Марченко, 2008б; Хузина, 2010; Калякина и др., 2017). При приближении к источнику загрязнения, а значит увеличении силы влияния негативных факторов среды, происходит уменьшение размеров листа, увеличение его флуктуирующей асимметрии и асимметрии половинок листовых пластинок (Марченко, 2009; Дубровин и др., 2013).

На территории Среднего Урала береза повислая дает ряд декоративных форм, отличающихся по строению кроны (Риль, 1972; Коновалов и др., 2010), а поэтому неравноценных для использования в озеленительных посадках. У деревьев плакучей формы формируется крона с тонкими опущенными ветвями длиной до 3–4 м. У деревьев полуплакучей формы боковые ветви отходят от главного ствола почти горизонтально, а затем поникают книзу. Деревья колоновидной формы имеют боковые ветви, отходящие от ствола под углом 35–40 градусов. Они погибают и идут почти параллельно главному стволу.

В целом, береза повислая обладает средней степенью декоративности (Мамаев, 2000). При этом выполняет требование наличия привлекательной архитектуры кроны с достаточной степенью ветвления, что позволяет создавать благоприятный облик насаждениям, в т.ч. в зимнее время в безлистном состоянии (Япрынцева и др., 2017). В период вегетации декоративность посадок определяется зачастую цветом и текстурой листвы (Емельянова, 2016).

В лесопарках города березовые насаждения занимают 2327 га (22,7% от общей площади лесопарков, покрытых лесной растительностью), причем удельный вес березняков неуклонно возрастает (Шевелина и др., 2016). Среди всех насаж-

дений зеленой зоны города береза занимает площадь 6207 га (24,1%) со средней полнотой 0,73 и средним классом бонитета II,5; среди них доминируют средневозрастные, приспевающие и спелые насаждения (Шевелина и др., 2015).

Применение березы в системе озеленения г. Екатеринбурга началось с 1835 года, когда она широко применялась при создании бульваров (Сродных, Лисина, 2012). Ее наиболее активное применение приурочено к 1970–1990-м гг. преимущественно при микрорайонной застройке (Карелина, 2015). Озеленительные посадки березы в Екатеринбурге занимают около 3% от основного ассортимента древесно-кустарниковых видов (Сродных, Денеко, 2004). При этом в 1950 и 1981 гг. их доля составляла 5 и 6%, соответственно. Подобная динамика объясняется реконструкцией старовозрастных насаждений и увеличением общего количества объектов озеленения на территории города.

Деревья березы повислой, произрастающие в г. Екатеринбурге, имеют удовлетворительное санитарное состояние (Сродных, Денеко, 2004; Сродных и др., 2009). При этом у деревьев внутри дворовых территорий отмечается несколько лучшее состояние (Семкина и др., 1991).

Отмечается перспектива использования березы в парках и скверах, аллеиных (в т.ч. однорядных) посадках, пейзажными группами и одиночно (Аткина и др., 2010). При этом следует уделять внимание архитектурно-планировочной организации территории объектов системы озеленения и объемно-пространственному размещению деревьев в них (Коновалов и др., 2011). При озеленении городских улиц рекомендуется применять березу при средней и низкой интенсивности движения автотранспорта (Сродных, Денеко, 2004). Сочетание березы с другими видами древесных растений по фитоценоотическому принципу открывает большие перспективы ее применения в различных вариациях для разных категорий объектов озеленения (Аткина и др., 2015). Таким образом, применение березы в городском зеленом хозяйстве, которая характеризуется хорошими декоративными качествами, параметры экологической ниши которой соответствует параметрам среды, может способствовать решению проблемы формирования индивидуально-го облика современного города (Авдеева и др., 2015).

## 2.4. Таксация городских насаждений

В отличие от таксации леса, таксации городских насаждений уделено недостаточное внимание (Артемьев, 2001). В настоящее время таксация насаждений, произрастающих на территории населенных пунктов, сводится к их инвентаризации (Артемьев, 2003). При этом у деревьев определяются следующие показатели: порода, возраст, диаметр на высоте груди и состояние по трем категориям (Боговая, Теодоронский, 2014). Данных параметров для описания насаждений, оценки эффективности выполнения ими важных эстетических, санитарно-гигиенических и микроклиматических функций, а также обоснованного назначения хозяйственных мероприятий, недостаточно (Авдеева, 2000). При этом применение к городским насаждениям таксационной нормативно-справочной информации, разработанной для естественных сомкнутых насаждений, в научно-исследовательских и производственных целях некорректно. Это объясняется тем, что особенности роста деревьев и древостоев в условиях города не вписываются в общеизвестные закономерности (Авдеева, 2008б).

Решением данной проблемы может служить применение современных методов таксации городских насаждений с использованием материалов дистанционных съемок, программно-измерительных комплексов и геоинформационных систем, нашедших применение в государственной инвентаризации лесов и используемых в ведущих научно-исследовательских организациях (Артемьев, 2004; Букша, Букша, 2013).

### **Выводы по главе:**

1. Условия произрастания древесных растений в городской и естественной природной среде резко отличаются по многим экологическим параметрам, что обуславливает в указанных экосистемах специфические особенности их роста и развития.

2. Озеленительные посадки в пределах городской территории выполняют важные санитарно-гигиенические, микроклиматические, рекреационные и эстетические функции. В условиях растущей урбанизации их роль неуклонно возрастает.

ет, т.к. они способны выступать в качестве фитофильтра и значительно снижать влияние неблагоприятных факторов природного и техногенного характера.

3. Эффективность озеленительных посадок с точки зрения поглощения углекислого газа и выделения кислорода, осаждения пыли, снижения уровня шума, а также их эстетическая ценность в значительной мере определяется развитием ассимиляционного аппарата растений. Изменение характеристик ассимиляционного аппарата объясняется адаптивной реакцией растений на внешние воздействия. Поэтому детальное его изучение открывает перспективы для объективной оценки состояния зеленых насаждений и эффективности выполнения ими своих функций.

4. В системе озеленения города важное место имеют насаждения березы, занимающие около 3 и 24% от ассортимента древесных растений в озеленительных посадках города и насаждений зеленой зоны г. Екатеринбурга, соответственно. Более того, береза повислая обладает целым рядом достоинств, которые необходимы для деревьев озеленительных посадок (экологическая пластичность, достаточная устойчивость к засухе, морозам, ранним осенним и поздним весенним заморозкам, загазованности воздуха, кислотности почвы и т.д.).

5. Вопросы строения и роста озеленительных посадок (в т.ч. из березы) в нашей стране практически не изучены. В то же время для повышения эффективности озеленительных мероприятий необходимо иметь актуальную и точную информацию о количественных и качественных показателях насаждений. Такая информация может быть получена только с использованием специальной нормативной базы, разработанной для оценки деревьев и насаждений, произрастающих в условиях городской среды.

### **3. ПРОГРАММА, МЕТОДИКА И ОБЪЕМ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ**

#### **3.1. Программа исследований**

В соответствии с целью и задачами исследований, принята следующая программа работ:

1. Анализ литературных источников по теме диссертационной работы (научных работ, посвященных исследованиям природно-климатических условий района, особенностей условий городской среды и их влиянию на древесные растения, оценке состояния березовых насаждений в границах населенных пунктов и их устойчивости воздействиям отрицательных антропогенных факторов).

2. Подбор озеленительных посадок березы, различающихся возрастом, шагом посадки и степенью воздействия техногенных факторов и закладка в них опытных участков с определением количественных и качественных показателей деревьев.

3. Изучение строения и возрастной динамики городских озеленительных посадок березы повислой.

4. Обоснование возможности использования ПИК Field-Map для определения сбега и объема растущих деревьев и разработка таблиц объемов стволов березы для озеленительных посадок города.

5. Оценка особенностей дифференциации морфологических показателей листовых пластинок березы и их использование для оценки состояния насаждений.

#### **3.2. Основные положения методики исследований**

В качестве объекта исследований выбраны линейные озеленительные посадки березы повислой с различным возрастом (от 6 до 85 лет) и шагом посадки (от 2,6 до 5,4 м) в границах муниципального образования «город Екатеринбург». В них закладывались опытные участки, общее количество которых составило 20 шт. Их размещение на территории города показано на рис. 3.1.



Рисунок 3.1 – Карта-схема расположения опытных участков

Как видно из данных рис. 3.1, опытные участки размещены в разных частях города, характеризующихся различным уровнем загрязнения атмосферы и почвы. Это позволяет достаточно объективно изучить влияние техногенных нагрузок на рост и жизнедеятельность деревьев.

Количество деревьев на опытных участках в основном соответствовало их фактическому числу в соответствующей озеленительной посадке.

Таксационные показатели деревьев определялись с применением современных лесотаксационных инструментов:

- диаметр ствола на высоте 1,3 м ( $D$ ) с помощью мерной вилки Masser BT Caliper в двух взаимно перпендикулярных направлениях с точностью до 0,1 см с выводом среднего значения;

- высота дерева ( $H$ ) и высота до начала кроны ( $H_{нк}$ ) с использованием высоотомера Vertex Forestor с точностью до 0,1 м;

- диаметр проекции кроны ( $D_k$ ) с помощью дальномера Leica DISTO lite 5 в двух взаимно перпендикулярных направлениях точностью до 0,1 м с выводом среднего значения.

Санитарное состояние деревьев оценивалось с использованием шкалы категорий санитарного состояния (Постановление..., 2017), где выделяются следующие категории санитарного состояния деревьев (KSS): 1) здоровые; 2) ослабленные; 3) сильно ослабленные; 4) усыхающие; 5) свежий сухостой; 6) старый сухостой.

Во избежание ошибок оценки состояния деревьев, связанных с их кратковременными реакциями на стрессовые факторы, учитывались не только состояние ассимиляционного аппарата, но и другие диагностические признаки, в т.ч. характер и интенсивность ветвления, наличие механических повреждений, состояние приростов текущего года, поражение болезнями и вредителями.

Для каждого объекта дополнительно устанавливался шаг посадки ( $B$ ) с точностью до 0,1 м. При этом использовался дальномер Leica DISTO lite 5.

Методической предпосылкой составления таблиц объемов послужила возможность получения экспериментального материала с достаточной точностью без рубки деревьев с использованием ПИК Field-Map (Букша и др., 2008; Шевелина и др., 2018). Данный комплекс состоит из лазерного дальномера-высотомера Tru-Pulse 360°В, планшетного компьютера Getac T800 и мерной вилки Masser BT Caliper. Для измерений на каждом опытном объекте механическим путем отбирались учетные деревья (каждое седьмое при перечете). Общее количество учетных деревьев на 20 опытных объектах составило 100 шт. У каждого учетного дерева с использованием ПИК были определены следующие показатели: высота и диаметр

ры ствола на разных высотных отметках.

По общепринятой методике таксации срубленного дерева для определения объема ствола его диаметры измеряются серединах одно- или двухметровых секций (в зависимости от высоты дерева), на которые может быть разделен ствол (Нагимов и др., 2013). У растущего дерева не всегда имеется возможность для измерения диаметра ствола строго на данных высотных отметках. В связи с этим измерения диаметра производились на таких высотах, на которых четко просматривался ствол от пункта наблюдения. В таком случае ствол оказывался разделенным на секции разной длины: в нижней хорошо просматриваемой части ствола в большинстве случаев длина секций была короче одного (двух) метров, в верхней кроновой части, наоборот, длиннее. Причем измерения производились таким образом, чтобы общее количество секций всегда было не меньше, чем при делении ствола на секции одинаковой длины по указанной выше методике. Такой подход вполне оправдан, т.к. в нижней половине ствола сосредоточено около 80% древесины. В этой связи более детальная оценка этой зоны ствола, безусловно, повысит точность определения объема. По полученным данным были построены вертикальные профили стволов.

Для определения среднего возраста (А) использовались образцы древесины (керны), взятые с помощью возрастного бурава Haglof. С учетом абсолютной одновозрастности деревьев в посадках на 18 опытных участках ограничили определение возраста только у 3 средних модельных деревьев. На двух участках (№№18 и 19), характеризующихся небольшим возрастом деревьев, для определения возраста использовались по 2 спиля из прикомлевой части ствола. Количество годичных колец на кернах определялось с помощью устройства для измерения годичных колец со стереомикроскопом LINTAB 6 по общепринятой методике (Матвеев, Румянцев, 2013).

На 16 опытных участках для изучения листового аппарата производился сбор листьев с учетных деревьев. Для этого совершались подъемы в кроны деревьев при помощи лестницы, где производился сбор листьев в количестве 20 шт. равномерно по окружности кроны.

Эта работа производилась после остановки роста листьев (в первой декаде августа). Сорванные листья помещались в полиэтиленовые пакеты с маркировкой номера опытного участка и категории санитарного состояния дерева. В лаборатории пакеты помещались в холодильник с температурой 2–4°C, что в значительной степени способствовало замедлению увядания листьев и потери влаги. Далее листья из пакетов поочередно сканировались на сканере Epson 3490 при разрешении 150 dpi. Также производилось измерение зеленой массы совокупности листьев с опытного участка с помощью весов Kern 440-45 с точностью до 0,1 г. Средневзвешенная масса листовых пластинок ( $m$ ) рассчитывалась как отношение массы их совокупностей с каждого участка к сумме площадей их поверхностей.

Учетные деревья для изучения листового аппарата на большинстве опытных участков отбирались в количестве 10 шт. На участках с малым количеством деревьев их число колебалось от 8 до 10. Общее количество учетных деревьев для изучения листового аппарата составило 156 шт., с которых собрано в общей сложности 3120 листьев.

Камеральная обработка экспериментального материала производилась в соответствии с общепринятыми в лесной таксации методиками и инструкциями (Захаров, 1967; Анучин, 1982; Верхунов, Черных, 2009; Нагимов и др., 2013).

Средний диаметр деревьев на участке определялся на основе средней площади сечения по известному в лесной таксации алгоритму. Средняя высота устанавливалась как соответствующая среднему диаметру с использованием графика высот. Причем график высот строился на основании замеров высот у всех деревьев на участке.

При исследовании строения и роста озеленительных посадок протяженность кроны ( $L_k$ ), относительная высота ствола ( $H:D$ ), площадь поверхности кроны ( $S_k$ ) и объем кроны ( $V_k$ ) рассчитывались по следующим формулам:

$$L_k = H - H_{nk}; \quad (3.1)$$

$$H:D = \frac{H}{D} 100; \quad (3.2)$$

$$S_k = \frac{\pi}{4} D_k \sqrt{4(L_k^2 + D_k^2)}; \quad (3.3)$$

$$V_k = \pi D_k \frac{L}{8}. \quad (3.4)$$

Математико-статистическая обработка экспериментального материала производилась с использованием программного пакета Statistica 10 и Microsoft Office Excel 2010. По каждому таксационному показателю вычислялись следующие статистические параметры: среднее арифметическое ( $M$ ), стандартная ошибка среднего ( $m_M$ ), критерий достоверности среднего значения ( $t_M$ ), стандартное отклонение ( $\sigma$ ), коэффициент вариации ( $CV$ ), коэффициент асимметрии ( $CA$ ), ошибка коэффициента асимметрии ( $m_{CA}$ ), коэффициент эксцесса ( $CE$ ), ошибка коэффициента эксцесса ( $m_{CE}$ ) и точность опыта ( $P$ ).

Объем ствола определялся путем суммирования объемов секций разной длины, которые вычислялись на основе данных, полученных с помощью ПИК Field-Mar. При этом диаметры ствола на серединах секций вычислялись методом интерполяции на основе диаметров, измеренных на растущих деревьях при помощи ПИК по апробированной методике (Шевелина и др., 2018). Объем отдельно взятой секции определялся путем умножения ее длины на площадь поперечного сечения на середине этой секции. Также методом интерполяции были определены диаметры ствола на  $1/4$  ( $D_{1/4}$ ),  $1/2$  ( $D_{1/2}$ ) и  $3/4$  ( $D_{3/4}$ ) высоты дерева. На основе полученных данных вычислялся коэффициент формы ствола ( $q_2$ ). При составлении таблиц объемов стволов применен метод множественной регрессии. Методика этой работы изложена разделе 5.1.

Для оценки полнодревесности стволов на опытных участках при помощи ПИК у 100 учетных деревьев березы были измерены все необходимые для этой цели таксационные показатели. Старое видовое число ( $f$ ) для каждого учетного дерева определялось по следующей формуле:

$$f = V/G_{1,3}H, \quad (3.5)$$

где  $G_{1,3}$  – площадь сечения ствола на высоте 1,3 м,  $m^2$ .

На сегодняшний день одним из наиболее перспективных с точки зрения производительности и точности методов определения односторонней площади листовой поверхности является метод сканирования. Его суть заключается в применении специализированного программного обеспечения или графических редакторов, где рабочим материалом служат растровые изображения листьев, получен-

ные со сканирующего оборудования (Коросов, 2007; Марченко, 2008а, 2009; Еременко, Еременко, 2010; Хикматуллина, 2013; Трофимова и др., 2014).

Для определения линейных размеров листовых пластинок (длина (LL), наибольшая ширина (LB)) и их площадей поверхности (LA) был применен ранее апробированный метод сканирования с использованием графического редактора Adobe Photoshop CS5 (Нуриев, Шевелина, 2016). Для перевода полученных результатов измерения (в пикселях) в реальные единицы измерения (см или см<sup>2</sup>) был произведен перерасчет как отношение результата измерения к количеству пикселей в единице длины или площади растрового изображения.

Для определения площади листьев часто используют методы линейных размеров (Крюковский, 1966; Nilsen, 1986; Verwijst, Wen, 1996; Kandiannan и др., 2002; Уткин и др., 2008). При этом наибольший интерес представляет конверсионный (переводной) коэффициент  $k$  (Moller, 1945; Lal, Subba Rao, 1951; Polster, Reichenbach, 1958; Уткин и др., 1997). Он рассчитывался по следующей формуле:

$$k = \frac{LA}{LL \cdot LB}. \quad (3.6)$$

Для оценки стабильности развития деревьев был использован метод, описанный в работе В.М. Захарова и др. (2000), который основан на измерениях пяти морфологических параметров листа с его левой и правой сторон (рис. 3.2).

На основе собранного материала рассчитаны средние значения длины, ширины и площади листьев, переводного коэффициента  $k$ , а также флуктуирующей асимметрии половинок листовых пластинок ( $A_{cp}$ ) для каждого из 16 исследованных участков. Последний показатель рассчитывался следующим образом. Вначале для каждого листа (для 20 листьев с каждого учетного дерева) определялась величина асимметрии указанных на рис. 3.2 параметров по следующей формуле:

$$A_n = \frac{L_n - R_n}{L_n + R_n}, \quad (3.7)$$

где  $L_n$  – замер слева;

$R_n$  – замер справа;

$n$  – номер замера.

Затем на основе этих данных устанавливалась средняя величина флуктуиру-

ющей асимметрии для каждого учетного дерева. На последнем этапе по данным учетных деревьев этот показатель рассчитывался для участка в целом.

Для оценки степени нарушения стабильности развития листовых пластинок березы повислой через величину показателя асимметрии, использована пяти-балльная шкала, представленная в табл. 3.1 (Захаров и др., 2000).

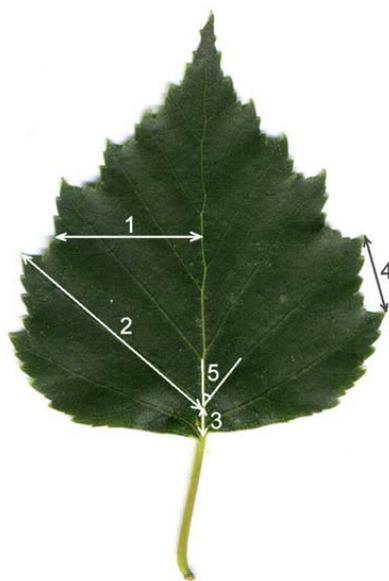


Рисунок 3.2 – Схема замеров листовой пластинки березы повислой для определения показателя флуктуирующей асимметрии:

- 1 – ширина половинки листа (измерение посередине листовой пластинки);  
 2 – длина второй от основания листа жилки второго порядка; 3 – расстояние между основаниями первой и второй жилок второго порядка; 4 – расстояние между концами первой и второй жилок второго порядка; 5 – угол между главной жилкой и второй от основания листа жилкой второго порядка

Таблица 3.1 – Шкала оценки отклонений состояния организма от условной нормы по величине интегрального показателя стабильности развития

Балл	Величина показателя стабильности развития	Качество среды
1	Менее 0,040	Условно нормальное
2	0,040–0,044	Незначительное отклонение от нормы
3	0,045–0,049	Средний уровень отклонения от нормы
4	0,050–0,054	Значительные отклонения от нормы
5	Более 0,055	Критическое состояние

### 3.3. Объем выполненных работ

В процессе выполнения программы исследований были заложены 20 опытных участков в рядовых озеленительных посадках березы повислой на территории г. Екатеринбурга, размер которых в основном определялся исходя из фактического количества растущих деревьев на местности. На опытных участках у 720 деревьев березы измерены диаметр и высота ствола, протяженность и диаметр кроны. У этих же деревьев определена категория санитарного состояния и шаг посадки. Подробная характеристика опытных участков представлена в прил. 1.

Распределение опытных участков и количества учтенных на них деревьев по возрасту представлено в табл. 3.2. Данные, представленные в табл. 3.2, свидетельствуют о достаточно широком диапазоне распределения экспериментального материала по возрасту. Это позволяет объективно изучить возрастные особенности строения озеленительных посадок и динамику их основных таксационных параметров.

Таблица 3.2 – Распределение опытных участков и количества учетных деревьев по возрасту

Показатели	Возраст, лет					Всего
	до 20	21–40	41–60	61–80	81 и выше	
Количество опытных участков, шт.	2	3	11	3	1	20
Количество учетных деревьев, шт.	50	75	495	85	15	720

Для установления среднего возраста посадок на опытных участках взято 54 керна древесины и 4 спиля из прикомлевой части деревьев.

Для оценки возможности применения данных, полученных при помощи ПИК Field-Мар для определения объема, этим комплексом измерены диаметры стволов на разных высотах у 24 растущих деревьев. По полученным материалам построены вертикальные профили стволов и определены их объемы. Затем после рубки этих деревьев определены объемы общепринятым методом (по сложной формуле Губера), которые приняты за «истинные». На основе сопоставления объемов, определенных этими способами оценивалась точность определения объемов ство-

лов ПИК путем вычисления систематических и среднеквадратических ошибок.

Для разработки таблиц объемов стволов по данным о сбегах стволов, полученным с помощью ПИК Field-Map, построены вертикальные профили и определены объемы стволов 100 деревьев на 20 опытных участках. Оценка точности разработанных таблиц объемов производилась на основе данных 15 учетных деревьев (на 6 опытных участках), не использованных при их составлении.

Для изучения листового аппарата березы произведен сбор 3120 листьев с 156 деревьев на 16 опытных участках. У них измерены основные морфологические параметры (длина, ширина, площадь поверхности), масса, а также произведены по пять замеров с каждой из сторон листовой пластинки, необходимых для расчета флуктуирующей асимметрии.

## 4. СТРОЕНИЕ И РОСТ ГОРОДСКИХ ОЗЕЛЕНИТЕЛЬНЫХ ПОСАДОК БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ

### 4.1. Дифференциация и распределение деревьев березы по размерам ствола и кроны

При оценке строения древостоев особый интерес вызывает характер распределения количества деревьев по их таксационным показателям: диаметру, высоте, размерам крон. Наиболее важное значение в таксационной практике имеют ряды распределения деревьев по диаметру (ступеням толщины) и высоте. Это связано с тем, что данные показатели деревьев являются наиболее информативными и технологичными, определяющими структуру древостоя (Балакир, 2012).

В табл. 4.1 приведены основные статистические показатели рядов распределения деревьев березы повислой по диаметру и высоте в исследуемых озеленительных посадках. Стоит отметить, что точность опыта на всех исследованных объектах соответствует самым строгим требованиям. Средние диаметры деревьев на опытных участках колеблются в диапазоне от 2,1 до 39,1 см. Достоверность их подтверждается на 5%-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт.}} > t_{0,05}$ ). Величины  $t_{0,05}$  установлены по таблице значений t-Стьюдента при соответствующем числе степеней свободы (Рокицкий, 1973). Значения коэффициента вариации диаметра достаточно существенно различаются по опытным участкам и изменяются от 5,09 до 19,41%. Сопоставление их с данными шкалы изменчивости количественных признаков растений С.А. Мамаева (1973) позволяет констатировать уровень изменчивости диаметров на отдельных опытных участках от очень низкой до средней. По всему массиву данных (по 20 исследованным посадкам) среднее значение коэффициента вариации составляет 13,21%, что соответствует среднему уровню (от 13 до 20%).

В целом, на наш взгляд, значения коэффициента вариации диаметров являются достаточно содержательным показателем, способные объяснить дифференциацию деревьев на исследуемых объектах. Они заметно ниже, чем в естественных сомкнутых древостоях.

Таблица 4.1 – Статистические показатели рядов распределения деревьев березы повислой по диаметру и высоте в озеленительных посадках г. Екатеринбурга

№ п/п	Наименование участка	Возраст, лет	Шаг посадки, м	Категория санитарного состояния, балл	Диаметр, см					Высота, м				
					среднее значение	стандартная ошибка среднего	стандартное отклонение	коэффициент вариации, %	точность опыта, %	среднее значение	стандартная ошибка среднего	стандартное отклонение	коэффициент вариации, %	точность опыта, %
1	Куйбышева	42	4,0	2,1	26,8	±0,40	4,60	17,39	1,5	17,7	±0,15	1,74	9,90	0,9
2	Декабристов	55	2,6	2,0	23,4	±0,55	4,28	18,64	2,4	20,0	±0,22	1,71	8,61	1,1
3	Высоцкого	38	4,7	2,3	23,6	±0,35	2,22	9,47	1,5	13,0	±0,13	0,85	6,54	1,0
4	Щорса – Машинная	61	5,4	2,3	32,7	±0,79	3,52	10,81	2,4	18,5	±0,32	1,45	7,85	1,8
5	Фурманова	38	4,5	2,3	22,4	±0,49	2,46	11,04	2,2	13,7	±0,25	1,24	9,10	1,8
6	Щорса – Сурикова	48	3,0	1,9	25,8	±0,98	4,92	19,41	3,9	19,5	±0,34	1,69	8,76	1,8
7	Ясная	58	4,5	2,2	35,8	±0,69	4,86	13,71	1,9	19,4	±0,24	1,67	8,64	1,2
8	Смазчиков	51	4,0	2,1	25,9	±0,98	4,40	17,25	3,9	16,3	±0,35	1,56	9,61	2,1
9	Шаумяна	57	4,5	2,2	33,2	±0,50	3,53	10,69	1,5	18,6	±0,20	1,39	7,48	1,1
10	Сибирский тракт	31	2,6	2,1	17,1	±0,81	2,55	15,02	4,8	14,5	±0,33	1,06	7,29	2,3
11	УГЛУТУ	47	3,5	2,0	23,0	±0,66	3,32	14,55	2,9	18,7	±0,22	1,09	5,82	1,2
12	ЦПКиО	63	4,8	2,3	35,3	±0,53	3,34	9,49	1,5	21,2	±0,24	1,53	7,24	1,1
13	Ангарская	69	4,0	2,5	36,5	±0,37	1,86	5,09	1,0	22,8	±0,24	1,20	5,25	1,1
14	Блюхера – Гагарина	42	4,0	1,7	28,7	±0,57	4,05	14,27	2,0	15,6	±0,19	1,36	8,75	1,2
15	Бардина	43	4,2	2,0	28,7	±0,60	3,76	13,22	2,1	15,9	±0,25	1,57	9,92	1,6
16	Блюхера – Д. Зверева	44	5,4	1,9	29,9	±0,69	3,45	11,61	2,3	15,8	±0,27	1,34	8,46	1,7
17	Стачек	48	4,2	2,3	26,4	±0,56	2,16	8,21	2,1	17,5	±0,25	0,95	5,46	1,4
18	Никонова	17	5,0	1,9	14,2	±0,77	2,45	17,45	5,5	8,3	±0,27	0,85	10,31	3,3
19	Мехренцева	6	4,5	1,6	2,1	±0,06	0,35	17,20	2,7	3,0	±0,04	0,26	8,66	1,4
20	Челюскинцев	85	3,8	2,6	39,1	±0,98	3,80	9,75	2,5	22,7	±0,21	0,81	3,59	0,9

Известно, что дифференциация деревьев имеет наследственную основу, а в сомкнутых насаждениях она увеличивается в результате конкурентных взаимоотношений между деревьями (Кузьмичев, 2013). Так, по данным Н.А. Луганского и Л.А. Лысова (1991) коэффициент вариации диаметров в березняках Среднего Урала в среднем составляет 27,9%. В озеленительных же посадках конкуренция проявляется в меньшей степени благодаря более редкому размещению деревьев на местности.

Результаты большинства исследований строения древостоев свидетельствуют о зависимости коэффициента вариации диаметров деревьев от их возраста. Такая зависимость наблюдается и в исследуемых озеленительных посадках березы повислой. Коэффициент корреляции ( $r$ ) связи между коэффициентом вариации диаметра ( $CV_D$ ) и возрастом озеленительных посадок составляет  $-0,50 \pm 0,167$ . Достоверность этого показателя подтверждается на 5%-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт}} = 2,99 > t_{0,05} = 2,10$ ). Величина  $t_{0,05}$  установлена по таблице значений t-Стьюдента при соответствующем числе степеней свободы (Рокицкий, 1973). Таким образом, рассматриваемая связь обратная и умеренной тесноты (Дворецкий, 1971). Она свидетельствует, что с увеличением возраста посадок коэффициент вариации диаметра деревьев закономерно уменьшается.

Обратная умеренная связь на исследуемых объектах наблюдается также между коэффициентом вариации диаметра деревьев и шагом посадки (коэффициент корреляции составляет  $-0,41 \pm 0,185$ ). Значение коэффициента корреляции достоверно на 5%-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт.}} = 2,22 > t_{0,05} = 2,10$ ). С увеличением шага посадки происходит снижение изменчивости диаметра деревьев.

На рис. 4.1. показана зависимость коэффициента вариации диаметра деревьев от возраста и шага посадки. С учетом характера этой зависимости получено следующее уравнение:

$$CV_D = 28,4 - 0,121A - 2,28B, \quad R^2 = 0,460. \quad (4.1)$$

Значения коэффициентов уравнения (4.1) значимы на 5%-м уровне значимости. Величина коэффициента детерминации ( $R^2$ ) свидетельствует, что совокупность двух факторов (возраста и шага посадки) объясняет 46% изменчивости зна-

чений коэффициента вариации диаметров. В целом статистические показатели уравнения (4.1) дают основание считать его достаточно адекватным и корректным экспериментальным данным.

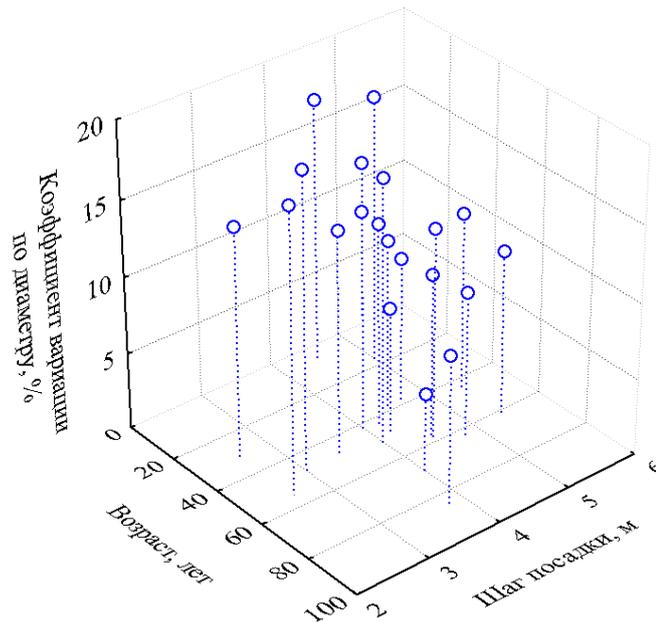


Рисунок 4.1 – Зависимость коэффициента вариации диаметра деревьев от возраста и шага посадки на исследуемых объектах

Анализ данных рис. 4.1 и коэффициентов уравнения (4.1) показывает, что при фиксированном возрасте выявляется тенденция уменьшения коэффициента вариации диаметра деревьев с увеличением шага посадки. Например, в возрастном диапазоне от 40 до 50 лет при шаге посадки от 3 до 4 м этот показатель в среднем составляет 16,41%, а при шаге посадки более 4,1 м – 11,01%. Это логично объясняется уменьшением конкуренции между деревьями с увеличением шага посадки.

В озеленительных посадках, как и в естественных древостоях, дифференциация деревьев по высоте значительно ниже, чем по диаметру. Средние высоты изучаемых посадок изменяются в пределах от 3,0 до 22,8 м. Достоверность их подтверждается на 5%-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт.}} > t_{0,05}$ ). Значения коэффициента вариации высоты ( $CV_H$ ) не значительно различаются по опытным участкам и изменяются от 3,59 до 10,31%. По шкале С.А. Мамаева (1973) изменчивость высоты деревьев на отдельных опытных участках соответствует очень низкому и низкому уровням. По всему массиву данных (по 20 исследованным посадкам) среднее зна-

чение коэффициента вариации составляет 7,86%, что соответствует низкому уровню (от 7 до 12%). В целом изменчивость высоты деревьев в городских озеленительных посадках значительно ниже, чем в естественных березовых древостоях (Луганский, Лысов, 1991).

Изменение коэффициента вариации высоты деревьев в возрастном развитии имеет аналогичную тенденцию с изменением коэффициента вариации их диаметра. Обнаруживается хорошо выраженное уменьшение значений рассматриваемого показателя с увеличением возраста. Связь между коэффициентом вариации высоты и возрастом обратная, значительная ( $r = -0,57 \pm 0,152$ ). Значение коэффициента корреляции достоверно на 5%-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт}} = 3,75 > t_{0,05} = 2,10$ ).

Зависимость коэффициента вариации высоты от шага посадки на нашем экспериментальном материале не обнаруживается. Это может объясняться низкой конкуренцией деревьев за положение в пологе и некоторыми другими факторами.

Интересные результаты получены при изучении дифференциации деревьев с учетом их санитарного состояния. На рис. 4.2 приведены графики зависимости коэффициентов вариации диаметра и высоты деревьев от баллов санитарного состояния.

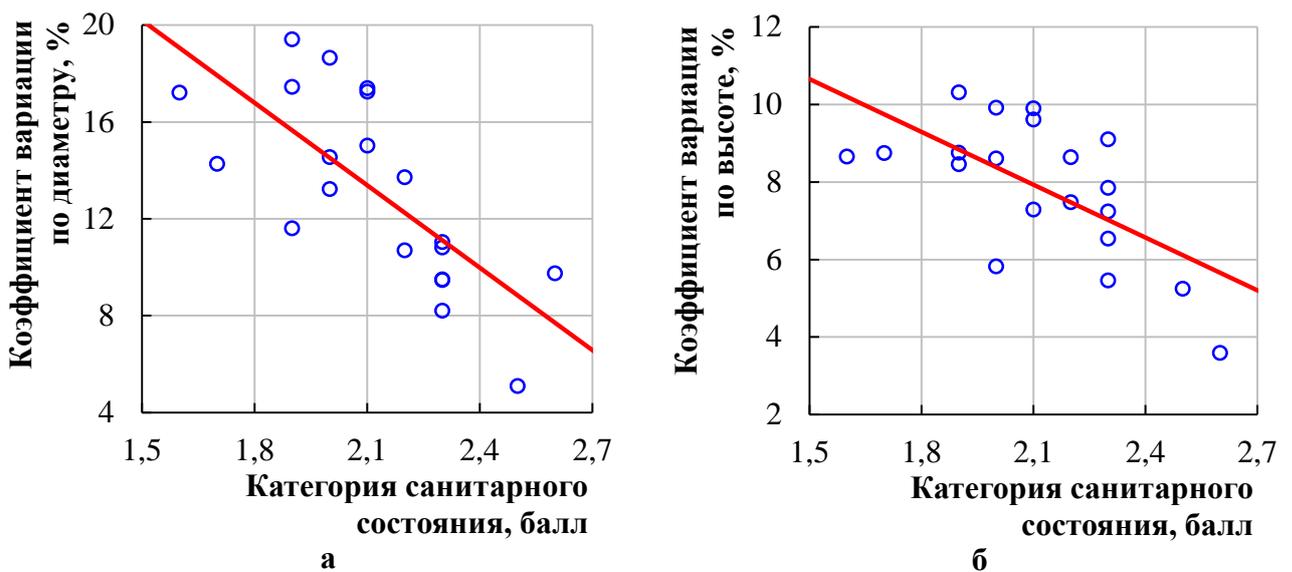


Рисунок 4.2 – Зависимости коэффициентов вариации диаметра (а) и высоты (б) деревьев от их санитарного состояния

Данные рис. 4.2. свидетельствуют, что с ухудшением санитарного состояния деревьев дифференциация их и по диаметру и по высоте закономерно уменьшается. Зависимости коэффициентов вариации диаметра и высоты деревьев от их баллов санитарного состояния наилучшим образом описываются уравнением прямой. Статистические показатели разработанных уравнений приведены в табл. 4.2. Все они достоверны на 5%-ном уровне значимости. Связь с баллом санитарного состояния коэффициента вариации высоты характеризуется как значительная, а коэффициента вариации диаметра – как высокая (тесная).

Таблица 4.2 – Характеристика уравнений связи коэффициентов вариации по диаметру и высоте от категории санитарного состояния вида  $CV = aKSS + b$

Вид изучаемой зависимости	Коэффициент корреляции	Коэффициент детерминации	Коэффициенты уравнения		Номер уравнения
			a	b	
$CV_D = f(KSS)$	$-0,72 \pm 0,107$	0,522	-11,347	37,21	(4.2)
$CV_H = f(KSS)$	$-0,64 \pm 0,133$	0,405	-4,542	17,47	(4.3)

Уменьшение дифференциации деревьев по диаметру и высоте с увеличением балла санитарного состояния, на наш взгляд, объясняется следующим. Высокие значения баллов санитарного состояния деревьев присущи посадкам, произрастающим в более худших условиях среды. Качество среды, безусловно, сказывается на биологических возможностях роста отдельных деревьев в их совокупностях. Они при прочих равных условиях на фоне ухудшения качества среды реализуются в меньшей степени. Это приводит к сокращению диапазона изменения диаметра и высоты деревьев и их концентрации в центральных ступенях толщины и высоты в таких условиях их произрастания.

В исследованиях городских насаждений важное значение имеют показатели кроны деревьев, от которых зависит эффективность выполнения ими санитарно-гигиенических и средоулучшающих функций. В табл. 4.3 сведены основные статистические показатели рядов распределения исследуемых деревьев по диаметру и протяженности крон. Как видно из ее данных, точность опыта на всех исследованных объектах соответствует лесотаксационным требованиям.

Таблица 4.3 – Статистические показатели рядов распределения деревьев березы повислой по размерам крон в озеленительных посадках г. Екатеринбурга

№ п/п	Наименование Участка	Возраст, лет	Шаг посадки, м	Категория санитарного состояния, балл	Протяженность кроны, м					Диаметр кроны, м				
					среднее значение	стандартная ошибка среднего	стандартное отклонение	коэффициент вариации, %	точность опыта, %	среднее значение	стандартная ошибка среднего	стандартное отклонение	коэффициент вариации, %	точность опыта, %
1	Куйбышева	42	4,0	2,1	14,2	±0,17	1,93	13,60	1,2	5,8	±0,08	0,93	16,06	1,4
2	Декабристов	55	2,6	2,0	12,5	±0,17	1,35	10,80	1,4	4,5	±0,09	0,66	14,71	1,9
3	Высоцкого	38	4,7	2,3	10,6	±0,15	0,94	8,85	1,4	5,5	±0,10	0,63	11,59	1,8
4	Щорса – Машинная	61	5,4	2,3	15,9	±0,34	1,51	9,52	2,1	6,6	±0,12	0,55	8,24	1,8
5	Фурманова	38	4,5	2,3	10,3	±0,28	1,39	13,58	2,7	5,7	±0,13	0,65	11,41	2,3
6	Щорса – Сурикова	48	3,0	1,9	13,7	±0,29	1,45	10,58	2,1	5,0	±0,17	0,85	17,06	3,4
7	Ясная	58	4,5	2,2	16,9	±0,26	1,81	10,75	1,5	6,7	±0,12	0,81	12,15	1,7
8	Смазчиков	51	4,0	2,1	13,3	±0,40	1,80	13,58	3,0	5,5	±0,17	0,77	14,01	3,1
9	Шаумяна	57	4,5	2,2	15,4	±0,27	1,92	12,50	1,8	6,3	±0,12	0,87	13,73	1,9
10	Сибирский тракт	31	2,6	2,1	10,2	±0,31	0,97	9,56	3,0	4,2	±0,21	0,75	17,79	4,9
11	УГЛТУ	47	3,5	2,0	14,5	±0,25	1,24	8,57	1,7	4,6	±0,09	0,46	10,04	2,0
12	ЦПКиО	63	4,8	2,3	17,5	±0,29	1,84	10,50	1,7	7,0	±0,11	0,71	10,14	1,6
13	Ангарская	69	4,0	2,5	16,7	±0,29	1,45	8,65	1,7	6,2	±0,10	0,51	8,15	1,6
14	Блюхера – Гагарина	42	4,0	1,7	12,3	±0,27	1,88	15,25	2,2	7,4	±0,10	0,72	9,72	1,4
15	Бардина	43	4,2	2,0	13,5	±0,26	1,67	12,36	2,0	6,5	±0,09	0,58	9,04	1,4
16	Блюхера – Д. Зверева	44	5,4	1,9	13,2	±0,34	1,71	12,94	2,6	7,0	±0,15	0,73	10,44	2,1
17	Стачек	48	4,2	2,3	14,7	±0,29	1,11	7,57	2,0	5,3	±0,13	0,50	9,39	2,4
18	Никонова	17	5,0	1,9	7,0	±0,22	0,70	9,97	3,2	4,5	±0,19	0,60	13,55	4,3
19	Мехренцева	6	4,5	1,6	1,9	±0,05	0,29	15,61	2,5	1,2	±0,02	0,15	12,74	2,0
20	Челюскинцев	85	3,8	2,6	16,1	±0,37	1,43	8,84	2,3	6,5	±0,20	0,79	12,15	3,1

Средняя протяженность крон по опытным участкам колеблется в диапазоне от 1,9 до 17,5 м. Достоверность этого показателя во всех случаях подтверждается на 5%-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт}} > t_{0,05}$ ). Значения коэффициента вариации протяженности крон ( $CV_{Lk}$ ) достаточно существенно различаются по опытным участкам и изменяются от 7,57 до 15,61%. Сопоставление их с данными шкалы изменчивости количественных признаков растений С.А. Мамаева (1973) позволяет констатировать уровень изменчивости протяженности крон на отдельных опытных участках от очень низкой до средней. По всему массиву данных (по 20 исследованным посадкам) среднее значение коэффициента вариации составляет 11,43%, что соответствует низкому уровню (от 7 до 12%).

В озеленительных посадках, как и в естественных древостоях, дифференциация деревьев по диаметру кроны выше, чем по протяженности. Средние диаметры крон в изучаемых посадках изменяются в пределах от 1,2 до 7,4 м. Достоверность их подтверждается на 5%-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт}} > t_{0,05}$ ). Значения коэффициента вариации диаметра крон ( $CV_{Dk}$ ) достаточно заметно различаются по опытным участкам и изменяются от 8,15 до 17,79%. По шкале С.А. Мамаева (1973) изменчивость диаметра крон деревьев на отдельных опытных участках соответствует низкому и среднему уровням. По всему массиву данных (по 20 исследованным посадкам) среднее значение коэффициента вариации составляет 12,11%, что соответствует низкому уровню (от 7 до 12%). В целом изменчивость диаметра крон деревьев в городских озеленительных посадках значительно ниже, чем в естественных березовых древостоях (Луганский, Лысов, 1991).

Степень дифференциации деревьев по протяженности крон в озеленительных посадках разного возраста заметно различается. Коэффициент корреляции связи между коэффициентом вариации протяженности крон и возрастом равен  $-0,43 \pm 0,183$ . Достоверность этого показателя подтверждается на 5%-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт}} = 2,35 > t_{0,05} = 2,10$ ). Таким образом, рассматриваемая связь обратная и умеренной тесноты. Она свидетельствует, что с увеличением возраста посадок коэффициент вариации протяженности крон закономерно уменьшается.

Шаг посадки на коэффициент вариации протяженности крон значимого вли-

яния не оказывает. Выше отмечалось, что такие же результаты наблюдаются при изучении связи между коэффициентом вариации высоты деревьев и шагом посадки. Данное положение вполне объяснимо: между протяженностью крон и высотой деревьев существует очень тесная достоверная связь ( $r = 0,95 \pm 0,024$ ).

На рис. 4.3 показана зависимость коэффициента вариации протяженности крон от возраста и санитарного состояния деревьев. Графические данные наглядно показывают, что при одинаковом возрасте посадок дифференциация деревьев по протяженности крон закономерно снижается с ухудшением их санитарного состояния.

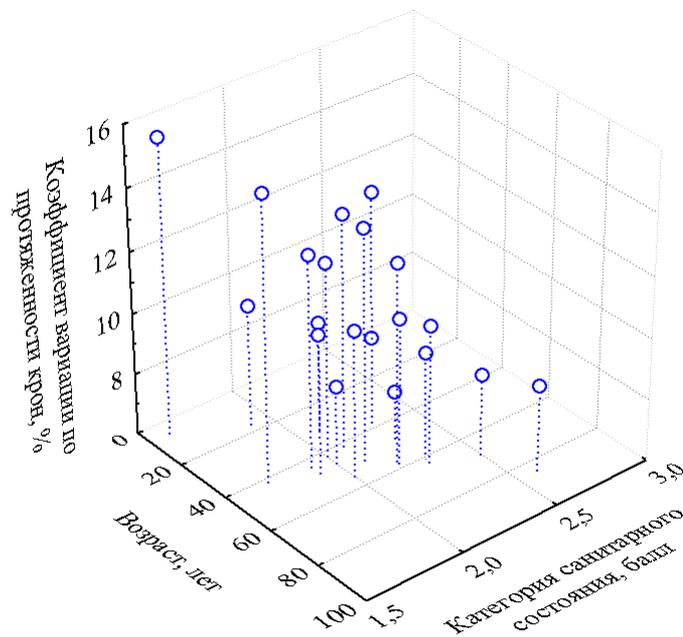


Рисунок 4.3 – Зависимость коэффициента вариации протяженности крон от возраста и категории санитарного состояния деревьев

С учетом характера зависимости коэффициента вариации протяженности крон деревьев от возраста и балла санитарного состояния получено следующее уравнение:

$$CV_{Lk} = 24,6 - 0,0001A^2 - 6,49KSS, \quad R^2=0,389. \quad (4.4)$$

Статистические параметры уравнения (4.4) позволяют сделать заключение о его достаточной адекватности и корректности экспериментальным данным. Знаки при коэффициентах уравнения подтверждают характер изменения изменчивости

протяженности крон в зависимости от возраста и санитарного состояния деревьев.

Изменение коэффициента вариации диаметра крон деревьев в возрастном развитии имеет аналогичный характер с изменением коэффициента вариации их протяженности. Обнаруживается тенденция уменьшения значений рассматриваемого показателя с увеличением возраста. Связь между коэффициентом вариации диаметра крон и возрастом обратная, слабая ( $r = -0,28 \pm 0,206$ ).

Обратная, но значительная по тесноте связь на исследуемых объектах наблюдается также между коэффициентом вариации диаметра крон и шагом посадки ( $r = -0,57 \pm 0,152$ ). Значение коэффициента корреляции достоверно на 5%-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт}} = 3,75 > t_{0,05} = 2,10$ ). С увеличением шага посадки происходит заметное снижение изменчивости диаметра крон. Полученные нами результаты согласуются с литературными данными (Сродных, Карпова, 2010).

На рис. 4.4 показана зависимость коэффициента вариации диаметра крон от возраста деревьев и шага посадки. Графические данные наглядно показывают, что при одинаковом возрасте посадок дифференциация деревьев по диаметру крон закономерно снижается с увеличением шага посадки. При фиксированных значениях шага посадки изменчивость диаметра крон уменьшается с увеличением возраста деревьев.

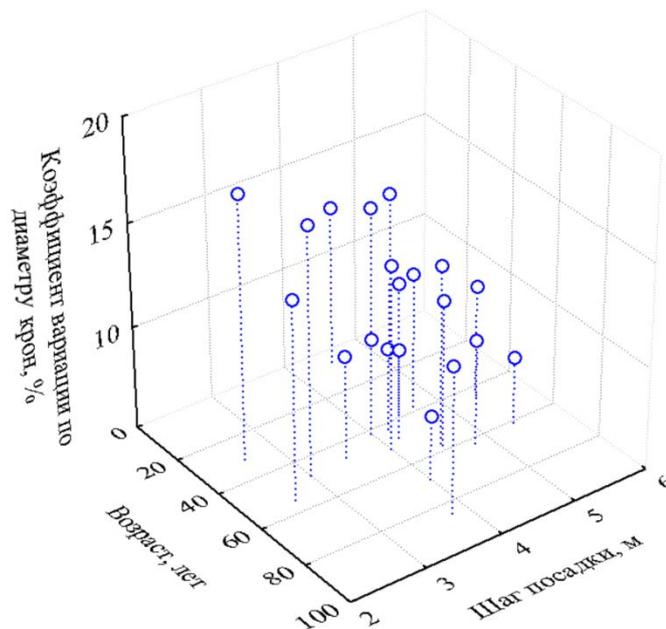


Рисунок 4.4 – Зависимость коэффициента вариации диаметра крон деревьев от возраста и шага посадки

С учетом характера зависимости коэффициента вариации диаметра крон деревьев от их возраста и шага посадки разработано следующее уравнение:

$$CV_{Dk} = 23,5 - 0,054A - 2,13B, \quad R^2=0,429. \quad (4.5)$$

Все статистические параметры уравнения (4.5) значимы на 5%-ном уровне. В целом на их основе можно сделать заключение, что разработанное уравнение достаточно корректно описывает исследуемую зависимость. Знаки при коэффициентах уравнения подтверждают характер изменения изменчивости диаметра крон деревьев в зависимости от их возраста и шага посадки.

Известно, что при оценке эффективности выполнения деревьями санитарно-гигиенических и средоулучшающих функций более информативными показателями являются не линейные размеры крон, а их площадь поверхности и объем. Следует отметить, что в специальной литературе сведения об этих показателях крон деревьев весьма ограничены и любые данные о них представляют значительный интерес.

В табл. 4.4 приведены основные статистические показатели рядов распределения деревьев березы повислой по площади поверхности и объему крон в исследуемых озеленительных посадках. Следует отметить, что точность опыта на всех исследованных объектах соответствует лесотаксационным требованиям.

Средние значения площади поверхности крон в озеленительных посадках березы повислой изменяются в диапазоне от 3,8 до 196,8 м<sup>2</sup>. Достоверность их подтверждается на 5%-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт.}} > t_{0,05}$ ). Значения коэффициента вариации площади поверхности крон ( $CV_{Sk}$ ) достаточно существенно различаются по опытным участкам и изменяются от 15,08 до 26,61%. По шкале С.А. Мамаева (1973) изменчивость площади поверхности крон деревьев на отдельных опытных участках оценивается как средняя или повышенная. По всему массиву данных (по 20 исследованным посадкам) среднее значение коэффициента вариации составляет 20,83%, что соответствует повышенному уровню (от 13 до 21%).

Таблица 4.4 – Статистические показатели рядов распределения деревьев березы по площади поверхности и объему крон в озеленительных посадках г. Екатеринбурга

№ п/п	Наименование участка	Возраст, лет	Шаг посадки, м	Категория санитарного состояния, балл	Площадь поверхности кроны, м <sup>2</sup>					Объем кроны, м <sup>3</sup>				
					среднее значение	стандартная ошибка среднего	стандартное отклонение	коэффициент вариации, %	точность опыта, %	среднее значение	стандартная ошибка среднего	стандартное отклонение	коэффициент вариации, %	точность опыта, %
1	Куйбышева	42	4,0	2,1	133,6	±2,91	33,80	25,31	2,2	32,7	±0,71	8,25	25,26	2,2
2	Декабристов	55	2,6	2,0	90,7	±2,71	20,95	23,10	3,0	22,3	±0,66	5,12	22,97	3,0
3	Высоцкого	38	4,7	2,3	94,7	±2,59	16,39	17,31	2,7	22,9	±0,62	3,92	17,12	2,7
4	Щорса – Машинная	61	5,4	2,3	169,8	±5,88	26,30	15,49	3,5	41,5	±1,44	6,46	15,54	3,5
5	Фурманова	38	4,5	2,3	96,6	±4,39	21,96	22,74	4,5	23,2	±1,07	5,33	22,92	4,6
6	Щорса – Сурикова	48	3,0	1,9	110,9	±5,53	27,66	24,95	5,0	27,3	±1,35	6,74	24,72	4,9
7	Ясная	58	4,5	2,2	182,4	±5,43	38,43	21,07	3,0	44,7	±1,33	9,37	20,97	3,0
8	Смазчиков	51	4,0	2,1	118,1	±5,93	31,44	26,61	5,0	28,9	±1,45	7,69	26,59	5,0
9	Шаумяна	57	4,5	2,2	157,6	±5,31	37,54	23,82	3,4	38,6	±1,30	9,17	23,77	3,4
10	Сибирский тракт	31	2,6	2,1	69,8	±3,49	18,50	26,51	5,0	17,1	±0,85	4,47	26,17	5,0
11	УГЛТУ	47	3,5	2,0	106,9	±3,56	17,78	16,63	3,3	26,4	±0,88	4,38	16,59	3,3
12	ЦПКиО	63	4,8	2,3	196,8	±5,48	34,66	17,61	2,8	48,3	±1,34	8,51	17,63	2,8
13	Ангарская	69	4,0	2,5	167,5	±5,05	25,24	15,08	3,0	41,1	±1,24	6,21	15,09	3,0
14	Блюхера – Гагарина	42	4,0	1,7	150,8	±4,54	32,13	21,30	3,0	36,1	±1,11	7,88	21,83	3,1
15	Бардина	43	4,2	2,0	141,7	±4,14	26,20	18,49	2,9	34,4	±1,02	6,44	18,71	3,0
16	Блюхера – Д. Зверева	44	5,4	1,9	152,7	±6,22	31,08	20,35	4,1	36,9	±1,52	7,58	20,55	4,1
17	Стачек	48	4,2	2,3	125,6	±4,90	18,97	15,10	3,9	30,9	±1,20	4,65	15,04	3,9
18	Никонова	17	5,0	1,9	52,0	±2,53	11,81	22,70	4,9	12,4	±0,63	2,76	22,29	5,0
19	Мехренцева	6	4,5	1,6	3,8	±0,15	0,94	24,77	3,9	0,9	±0,04	0,23	25,09	4,0
20	Челюскинцев	85	3,8	2,6	169,2	±7,98	30,92	18,27	4,7	41,4	±1,94	7,51	18,11	4,7

Изменение коэффициента вариации площади поверхности крон в возрастном развитии озеленительных посадок имеет аналогичную тенденцию с изменениями коэффициентов вариации линейных размеров крон.

Связь между коэффициентом вариации площади поверхности крон и возрастом обратная, умеренная ( $r = -0,46 \pm 0,176$ ). Значение коэффициента корреляции достоверно на 5%-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт.}} = 2,61 > t_{0,05} = 2,10$ ).

Средние объемы крон деревьев березы в исследуемых озеленительных посадках изменяются в диапазоне от 0,9 до 48,3 м<sup>3</sup>. Достоверность их подтверждается на 5%-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт.}} > t_{0,05}$ ). Значения коэффициента вариации объема крон ( $CV_{VK}$ ) по опытным участкам варьирует в пределах от 15,04 до 26,59%. По шкале С.А. Мамаева (1973) изменчивость объема крон деревьев на отдельных опытных участках, как и в случае с площадью поверхности крон, оценивается как средняя или повышенная. По всему массиву данных (по 20 исследованным посадкам) среднее значение коэффициента вариации составляет 20,60%, что соответствует повышенному уровню (от 13 до 21%).

Между коэффициентом вариации объема крон деревьев и их возрастом наблюдается обратная связь умеренной тесноты. Коэффициент парной линейной корреляции составляет  $-0,49 \pm 0,170$ . Значение коэффициента корреляции достоверно на 5%-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт.}} = 2,88 > t_{0,05} = 2,10$ ).

Обратная связь наблюдается также между коэффициентом вариации объема крон и баллом санитарного состояния, причем она более тесная:  $r = -0,53 \pm 0,161$ . Значение коэффициента корреляции достоверно на 5%-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт.}} = 3,29 > t_{0,05} = 2,10$ ). С ухудшением санитарного состояния деревьев снижается их дифференциация по объему крон.

На рис. 4.5 показана зависимость коэффициентов вариации площади поверхности и объема крон от возраста и санитарного состояния деревьев. Графические данные подтверждают приведенные выше результаты. При одинаковом возрасте посадок дифференциация деревьев по площади поверхности и объему крон закономерно снижается с увеличением балла санитарного состояния, а при фиксированных значениях балла санитарного состояния – с увеличением возраста.

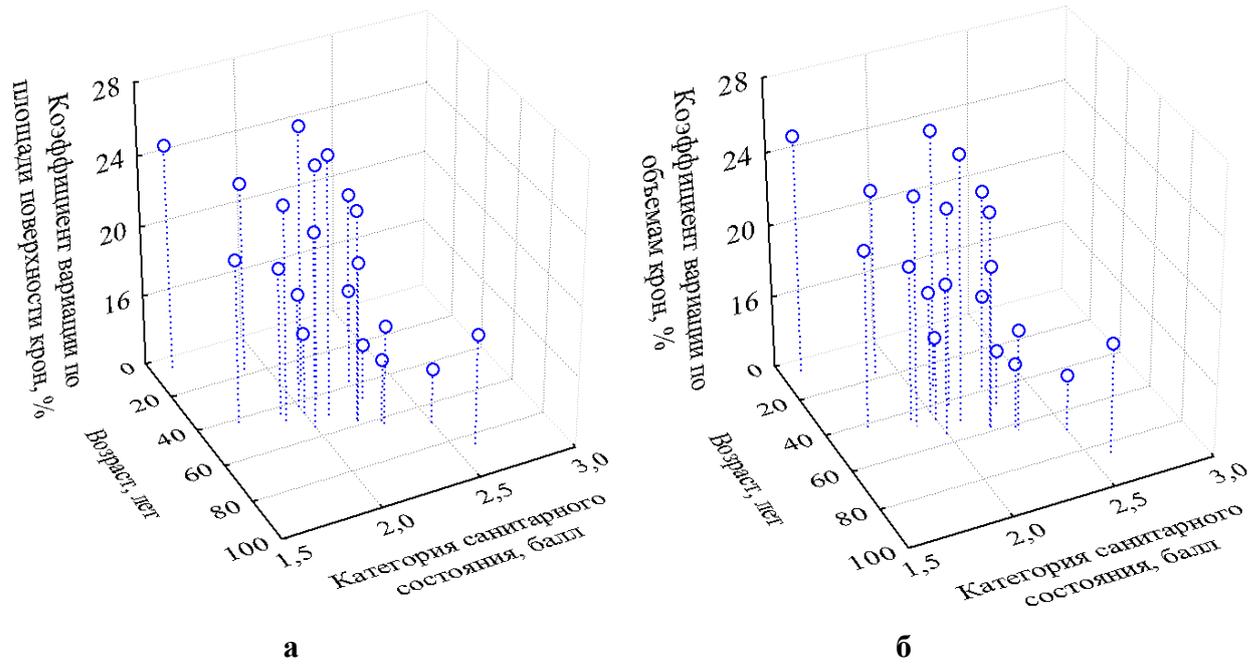


Рисунок 4.5 – Зависимость коэффициентов вариации площади поверхности (а) и объема (б) кроны деревьев от их возраста и категории санитарного состояния

Представляет также интерес изучение совместного влияния возраста и шага посадки на изменчивость площади поверхности и объема кроны. В этой связи с учетом характера зависимости коэффициентов вариации указанных параметров кроны деревьев от их возраста и шага посадки разработаны следующие уравнения:

$$CV_{Sk} = 34,4 - 0,045A - 5,40B, \quad R^2=0,268; \quad (4.6)$$

$$CV_{Vk} = 34,3 - 0,0478A - 5,45B, \quad R^2=0,300. \quad (4.7)$$

Разработанные уравнения (4.6) и (4.7) характеризуются сравнительно невысокими значениями коэффициента детерминации. Тем не менее, они достаточно корректно передают характер изменения изменчивости площади поверхности и объема кроны деревьев в зависимости от их возраста и шага посадки. Коэффициенты вариации рассматриваемых параметров кроны уменьшаются при одинаковом возрасте деревьев с увеличением шага посадки, а при фиксированном значении шага посадки – с увеличением возраста.

В целом результаты настоящих исследований свидетельствуют, что дифференциация деревьев по таксационным показателям стволов и кроны в городских озеленительных посадках березы повислой выражена в меньшей степени, чем в

сомкнутых естественных насаждениях. Этот факт косвенно указывает на их сравнительно невысокую стабильность и устойчивость. В специальной литературе отмечается, что гетерогенность насаждений по размерам деревьев является показателем их устойчивости и стабильности (Дробышев и др., 2003). На степень дифференциации деревьев в той или иной мере оказывают влияние возраст, санитарное состояние и шаг озеленительных посадок.

При изучении строения древостоев важное место занимает оценка характера распределения числа деревьев по таксационным показателям (диаметру и высоте) и соответствия его тем или иным законам распределения случайной величины. Общеизвестно, что форма кривых распределения числа деревьев по их основным таксационным показателям наиболее корректно характеризуется двумя коэффициентами: асимметрии и эксцесса. Значения этих показателей для рядов распределения диаметров и высот представлены в табл. 4.5.

Таблица 4.5 – Статистические показатели рядов распределения деревьев березы повислой по диаметру и высоте

№ п/п	Наименование участка	Диаметр, см		Высота, м	
		коэффициент асимметрии	коэффициент эксцесса	коэффициент асимметрии	коэффициент эксцесса
1	Куйбышева	0,25±0,209	-0,97±0,414	0,02±0,209	-0,93±0,414
2	Декабристов	0,33±0,309	-0,80±0,608	0,49±0,309	-0,99±0,608
3	Высоцкого	0,11±0,374	-1,02±0,733	0,25±0,374	-0,61±0,733
4	Щорса – Машинная	0,26±0,512	-0,35±0,992	-0,18±0,512	-0,78±0,992
5	Фурманова	0,52±0,464	-0,62±0,902	0,05±0,464	-0,94±0,902
6	Щорса – Сурикова	-0,02±0,464	-1,47±0,902	-0,38±0,464	-1,05±0,902
7	Ясная	0,35±0,337	-0,48±0,662	0,14±0,337	-0,74±0,662
8	Смазчиков	0,51±0,512	-0,70±0,992	0,37±0,512	-1,04±0,992
9	Шаумяна	0,34±0,337	-0,74±0,662	0,15±0,337	-1,12±0,662
10	Сибирский тракт	-0,40±0,687	-1,14±1,334	-0,54±0,687	-0,40±1,334
11	УГЛТУ	-0,01±0,464	-1,06±0,902	-0,04±0,464	-0,16±0,902
12	ЦПКиО	-0,22±0,374	-0,52±0,733	0,09±0,374	-0,73±0,733
13	Ангарская	0,14±0,464	-1,07±0,902	-0,17±0,464	-0,62±0,902
14	Блюхера – Гагарина	-0,22±0,337	-0,88±0,662	0,03±0,337	-0,64±0,662
15	Бардина	0,10±0,374	-1,20±0,733	0,44±0,374	-0,68±0,733
16	Блюхера – Д. Зверева	0,03±0,464	-1,28±0,902	-0,21±0,464	-0,71±0,902
17	Стачек	0,22±0,580	-1,56±1,121	-0,17±0,580	-0,71±1,121
18	Никонова	-0,23±0,687	-1,20±1,334	-0,71±0,687	0,39±1,334
19	Мехренцева	0,53±0,374	-0,55±0,733	0,19±0,374	-0,86±0,733
20	Челюскинцев	-0,01±0,580	-1,39±1,121	-0,35±0,580	-0,92±1,121

Анализируя табличные данные необходимо отметить следующее. Диапазон изменения коэффициента асимметрии достаточно широкий. Для рядов распределения диаметров он составляет от -0,40 до +0,53, а для рядов распределения высот – от -0,71 до +0,49. Причем все значения коэффициента асимметрии, приведенные в табл. 4.5 на 5%-ном уровне не достоверны ( $t_{\text{факт.}} < t_{0,05}$ ). Среднее значение асимметрии по всем участкам составляет: для рядов распределения диаметров +0,13, а рядов распределения высот -0,03.

Диапазон изменения коэффициента эксцесса исследуемых рядов шире, чем коэффициента асимметрии. Для рядов распределения диаметров он составляет от -1,56 до -0,35, а для рядов распределения высот – от -1,12 до +0,39. Достоверность этого показателя на 5%-ном уровне доказывается только по рядам распределения диаметров и высот на первом участке ( $t_{\text{факт.}} = 2,34(2,25) > t_{0,05} = 2,10$ ). На всех остальных участках, значения коэффициента эксцесса не достоверны. Среднее значение эксцесса по всем опытным участкам составляет: для рядов распределения диаметров -0,95, а рядов распределения высот -0,71.

По всем исследуемым объектам были построены графики распределения числа деревьев по ступеням диаметра и высоты. Их анализ и сопоставление с соответствующими данными для сомкнутых естественных древостоев позволяет отметить следующие отличительные особенности рядов распределения деревьев по диаметру и высоте в озеленительных посадках:

- а) более короткий диапазон изменения диаметров и высот (почти в два раза);
- б) менее выраженную положительную асимметрию (для рядов распределения диаметров коэффициент асимметрии составляет от -0,40 до +0,53, а для рядов распределения высот – от -0,71 до +0,49);
- в) более выраженную плосковершинность (для рядов распределения диаметров коэффициент эксцесса составляет от -1,56 до -0,35, а для рядов распределения высот – от -1,12 до +0,39).

Эти особенности, на наш взгляд, связаны, во-первых, с использованием при создании озеленительных посадок достаточно однородного в генетическом отношении посадочного материала, а во-вторых – условиями произрастания деревьев

в городской среде. В частности, биологический потенциал роста деревьев при ухудшении качества среды реализуются в меньшей степени. Это, безусловно, при прочих равных условиях сдерживает достижение деревьями более крупных размеров и укорачивает диапазон варьирования показателей.

В результате специальных исследований установлена обратная умеренная связь между коэффициентом эксцесса рядов распределения высот с возрастом посадок (коэффициент корреляции равен  $-0,40 \pm 0,189$ ) и прямая умеренная связь между коэффициентом эксцесса рядов распределения диаметров с шагом посадки (коэффициент корреляции составляет  $0,32 \pm 0,200$ ).

Для выбора математической функции, наилучшим образом описывающей экспериментальные данные, производилась последовательная аппроксимация рядов распределения диаметров и высот различными уравнениями, используемыми для этих целей. Выбор наилучшего уравнения производился на основе сравнения вычисленных критериев согласия Пирсона  $\chi^2$  с табличными значениями на 5%-ном уровне значимости. В результате этих исследований установлено, что наиболее универсальной для описания эмпирических рядов распределения деревьев по диаметру и высоте является функция Вейбулла.

#### **4.2. Взаимосвязи таксационных показателей деревьев**

Результаты исследований взаимосвязей между таксационными и морфологическими показателями деревьев имеют большое теоретическое и практическое значение. Разработанные в ходе таких исследований уравнения зависимостей могут широко применяться при оценочных и озеленительных работах.

Наибольшее применение в лесотаксационной практике имеет зависимость высоты деревьев от их диаметра на высоте груди. Многие исследователи отмечают, что связь между высотой и диаметром деревьев до их определенного возраста является прямолинейной. Криволинейной она становится у разных пород в различном возрасте. В сомкнутых насаждениях естественного происхождения связь высоты от диаметра в основном носит криволинейный характер. Признается, что криволинейность этой связи в основном определяется не возрастом деревьев, а

уровнем конкуренции между ними, которая способствует росту деревьев преимущественно в высоту (Третьяков, 1927; Захаров, 1956; Юкнис, 1983). Отмечается, что у деревьев, растущих в изолированном состоянии, проявляется изометрия роста (Юкнис, 1983; Третьякова, 2006).

В этой связи, характер зависимостей между таксационными показателями деревьев в городских озеленительных посадках, характеризующихся в отличие от сомкнутых древостоев, значительно меньшей конкуренцией, может быть специфичным. Определенное подтверждение этому можно найти в специальной литературе (Авдеева, 2008б).

Для исследования зависимости высоты деревьев от их диаметра на всех опытных участках были построены графики высот (прил. 2). В качестве примера по первым двум опытным участкам они представлены на рис. 4.6. Графические данные свидетельствуют, что зависимость высоты деревьев от их диаметра корректно передается прямой линией. Подобные результаты получены и на остальных участках. Прямолинейный характер исследуемых зависимостей свидетельствует, что между деревьями в озеленительных посадках наблюдается слабый уровень конкурентных отношений.

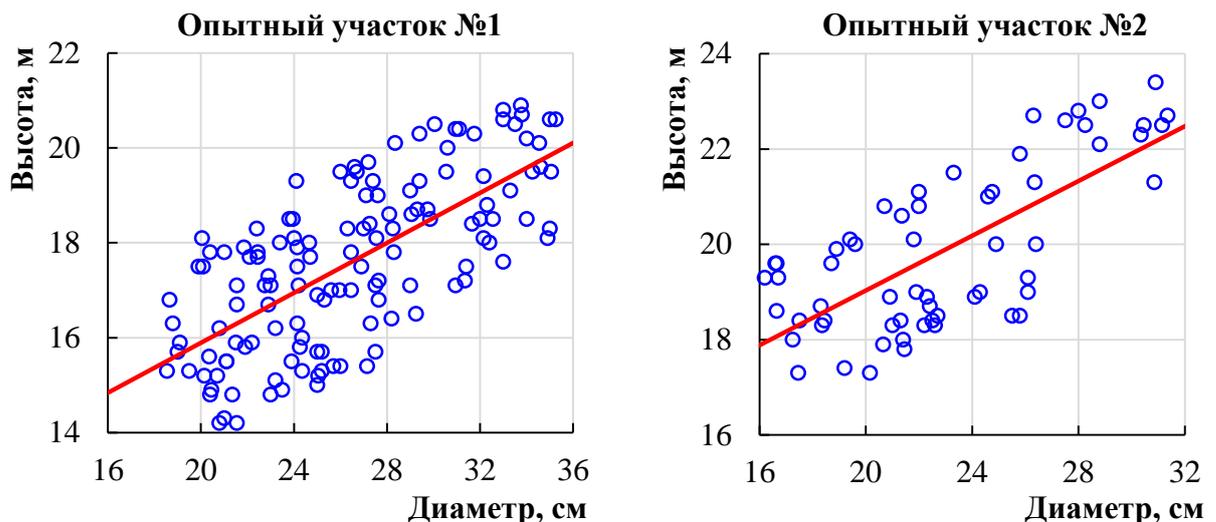


Рисунок 4.6 – Графики высот деревьев березы повислой на опытных участках №№1 и 2 в озеленительных посадках г. Екатеринбурга

Статистические показатели уравнений зависимости высоты деревьев от их диаметра, полученные по экспериментальным данным, собранным на всех двадцати опытных участках, приведены в табл. 4.6.

Таблица 4.6 – Статистические показатели уравнений регрессии вида  $H = aD + b$

Номер участка	Коэффициенты уравнения		Коэффициент детерминации	Номер уравнения
	a	b		
1	0,263	10,63	0,482	(4.9)
2	0,287	13,29	0,516	(4.10)
3	0,291	6,12	0,583	(4.11)
4	0,347	7,20	0,706	(4.12)
5	0,396	4,80	0,617	(4.13)
6	0,270	12,51	0,614	(4.14)
7	0,261	10,10	0,575	(4.15)
8	0,310	8,31	0,767	(4.16)
9	0,295	8,83	0,562	(4.17)
10	0,313	9,17	0,570	(4.18)
11	0,281	12,26	0,736	(4.19)
12	0,319	9,94	0,482	(4.20)
13	0,424	7,30	0,433	(4.21)
14	0,202	9,77	0,364	(4.22)
15	0,352	5,84	0,708	(4.23)
16	0,271	7,74	0,489	(4.24)
17	0,372	7,68	0,710	(4.25)
18	0,304	4,00	0,764	(4.26)
19	0,532	1,91	0,527	(4.27)
20	0,164	16,26	0,588	(4.28)

Значения коэффициентов уравнений (4.9–4.28) значимы на 5%-м уровне. Теснота связи высоты деревьев от их диаметра на исследуемых объектах изменяется от значительной до тесной ( $r = 0,603–0,875$ ). Значения коэффициента детерминации свидетельствуют, что разработанные уравнения достаточно адекватны и корректны закономерностям изменения высот деревьев от их диаметров. Выявлено, что среднеквадратические диаметры по всем опытным участкам в среднем на 0,8 % превышают среднеарифметические, что соответствует данным, представленным в специальной литературе (Высоцкий, 1962).

Значительный интерес вызывает степень согласованности соотношений среднего диаметра и средней высоты деревьев в озеленительных посадках с данными разрядной шкалы сомкнутых естественных древостоев. Для изучения этого

вопроса с использованием соответствующих статистических процедур разработано уравнение (4.8), передающее зависимость средних высот озеленительных посадок от их средних диаметров:

$$H = 1,767D^{0,686}, \quad R^2 = 0,909. \quad (4.8)$$

Статистические показатели уравнения (4.8) достоверны на 5%-м уровне значимости. Значение коэффициента детерминации свидетельствует, что оно адекватно и корректно описывает исследуемую зависимость.

На рис. 4.7 показано сопоставление линии регрессии, полученной по уравнению (4.8) с кривой, передающей соотношение средних высот и диаметров сомкнутых естественных древостоев березы V разряда высот по Л.А. Лысову (Нагимов и др., 2013).

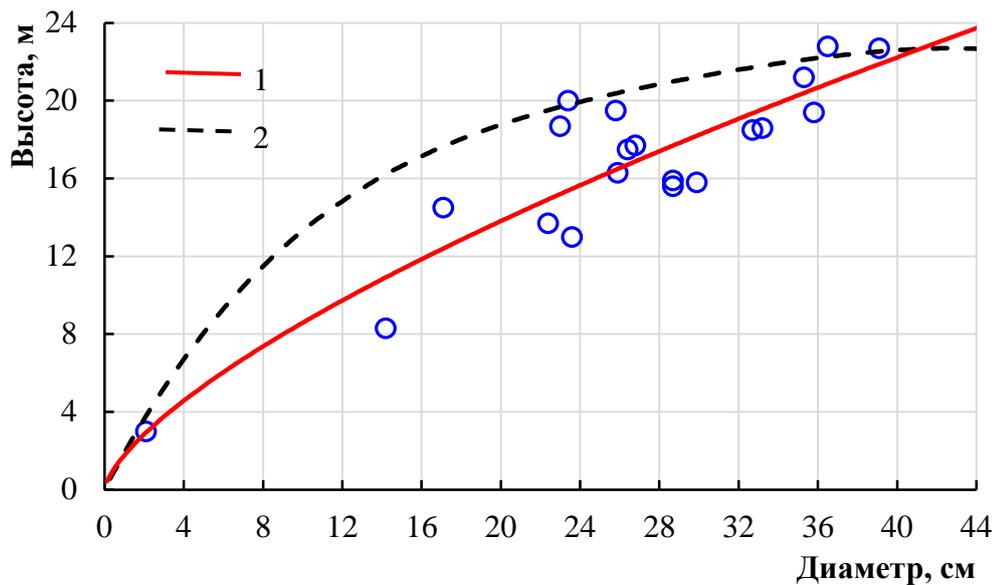


Рисунок 4.7 – Соотношение между диаметрами и высотами деревьев березы: 1 – в озеленительных посадках; 2 – по V разряду высот сомкнутых древостоев

Как видно из данных рис. 4.7, соотношение средних диаметров и высот озеленительных посадок не укладывается в рамки разрядной шкалы естественных березняков (V разряд высот – низший в таблицах Л.А. Лысова) и резко отличается по своему характеру. Таким образом, приведенные выше материалы свидетельствуют, что при лесооценочных работах в городских озеленительных посадках

березы не корректно применение разрядной шкалы, объемных и сортиментных таблиц, составленных для сомкнутых естественных древостоев данной породы.

Известно, что в сомкнутых древостоях между линейными размерами ствола и кроны существуют тесные корреляционные связи (Нагимов и др., 2006). В процессе роста и развития древостоев соотношения между показателями ствола и кроны изменяются в широких пределах. Степень этих изменений определяются условиями роста, в частности густотой древостоев (Третьяков, 1927). В этой связи вызывает интерес исследование этих связей в городских озеленительных посадках с регулярным и более редким размещением деревьев.

На рис. 4.8 изображены зависимости диаметра кроны от диаметра стволов на высоте груди и длины кроны от высоты деревьев в исследуемых древостоях.

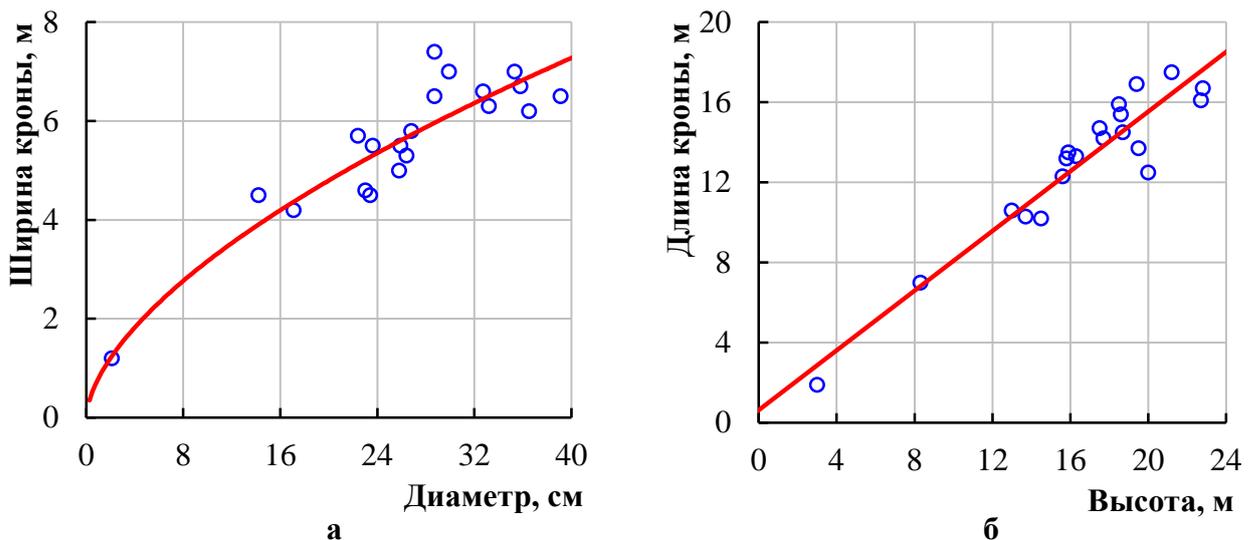


Рисунок 4.8 – Зависимость диаметра кроны от диаметра ствола (а) и длины кроны от высоты дерева (б) в озеленительных посадках березы

Выполненная процедура подбора лучших уравнений для аналитического выражения указанных зависимостей позволяет отметить следующее. Наиболее корректно зависимость диаметра кроны от диаметра ствола передает следующее уравнение:

$$D_k = 0,793D^{0,601}, \quad R^2 = 0,934. \quad (4.29)$$

Статистические показатели уравнения (4.29) позволяют сделать заключение, что оно вполне адекватно и корректно описывает зависимость диаметра кроны от

диаметра стволов деревьев березы в городских озеленительных посадках.

Зависимость длины кроны от высоты деревьев, в отличие от рассмотренной выше, прямолинейна. Она достаточно корректно описывается данным уравнением:

$$L_k = 0,715H + 0,63, \quad R^2 = 0,894. \quad (4.30)$$

Статистические показатели уравнения (4.30) достоверны на 5%-м уровне значимости. Значение коэффициента детерминации свидетельствует о его адекватности и корректности экспериментальным данным. Более низкое значение  $R^2$  в уравнении (4.30) по сравнению с уравнением (4.29), на наш взгляд, объясняется тем, что на некоторых участках за деревьями проводился уход в виде формирования штамба с обрезкой нижних ветвей первого порядка. Это механическое изменение длины кроны нашло отражение на тесноте связи между рассматриваемыми показателями.

Многие исследователи (Высоцкий, 1962; Верхунов, 1976; Третьякова, 2006; Кузьмичев, 2013) считают, что при оценке дифференциации деревьев и степени конкурентных взаимоотношений между ними в древостоях весьма информативным показателем является относительная высота – отношение высоты растения к его диаметру. В частности, К.К. Высоцкий отмечает, что относительная высота отражает не только связь деревьев и древостоев с условиями среды, но и служит показателем напряженности роста и густоты стояния деревьев.

Распределение всей совокупности деревьев на исследуемых участках по показателю относительной высоты показано на рис. 4.9.

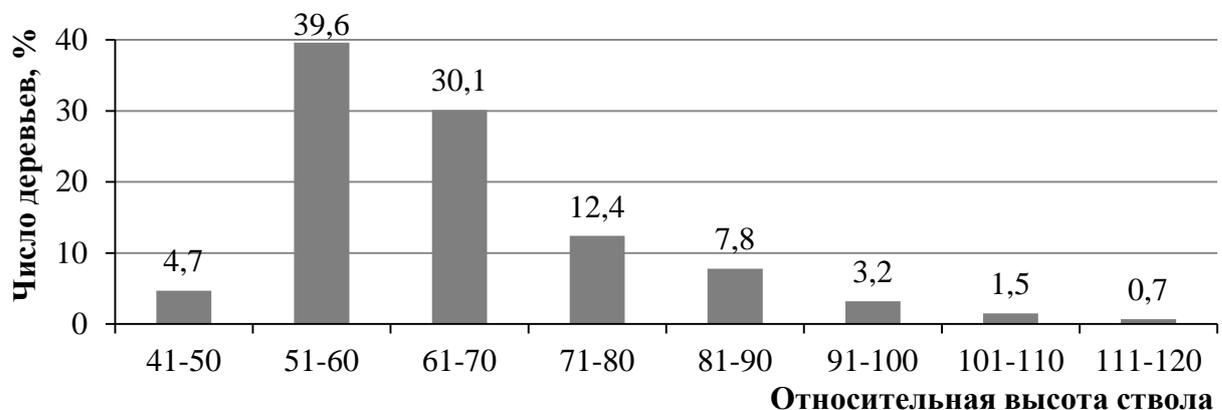


Рисунок 4.9 – Распределение числа деревьев березы повислой в озеленительных посадках по показателю относительной высоты ствола

Из данных рис. 4.9 видно, что подавляющее большинство деревьев (82,1%) имеет относительную высоту от 51 до 80. При сравнении полученных нами результатов с соответствующими материалами других исследователей выявляется, что  $H:D$  деревьев в исследуемых озеленительных посадках существенно ниже, чем в сомкнутых древостоях. Известно, что в сомкнутых естественных древостоях этот показатель у преобладающего числа деревьев превышает 80 (Комин, 1970).

В специальной литературе есть сведения, что амплитуда значений  $H:D$  в древостоях зависит от степени дифференциации растений, которая тесно связана с напряженностью внутривидовой конкуренции (Кузьмичев, 2013). Это положение подтверждается и в озеленительных посадках березы в г. Екатеринбурге. Коэффициент корреляции между относительной высотой деревьев и коэффициентом вариации их диаметров составляет  $0,51 \pm 0,171$ . Достоверность коэффициента корреляции доказывается на 5%-ном уровне значимости ( $t_{\text{факт.}} = 2,98 > t_{0,05} = 2,10$ ). Таким образом, между указанными показателями существует значительная по тесноте, прямая связь.

В исследуемых озеленительных посадках березы наблюдается достаточно четкая зависимость значений  $H:D$  от шага посадки (рис. 4.10).

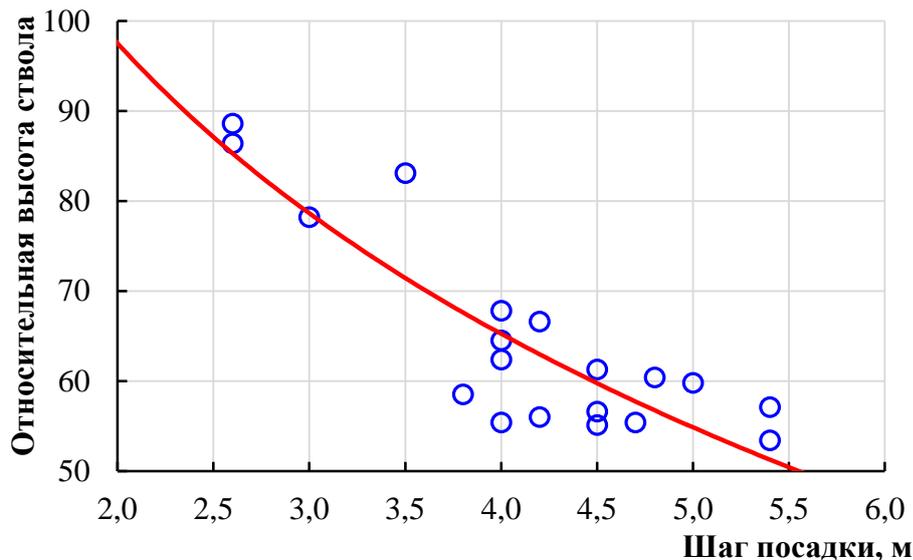


Рисунок 4.10 – Зависимость значений относительной высоты деревьев от шага посадки в озеленительных посадках березы

Графические данные свидетельствуют о закономерном снижении значений Н:D с увеличением шага посадки. Представленная на рис. 4.10 зависимость наиболее точно описывается логарифмическим уравнением:

$$H:D = 129,8 - 46,535 \ln(B), \quad R^2 = 0,770. \quad (4.31)$$

Статистические показатели уравнения (4.31) достоверны на 5%-м уровне значимости. По величине коэффициента детерминации можно сделать вывод об адекватности и корректности разработанного уравнения экспериментальным данным.

На основе табулирования уравнения (4.31) получены значения относительной высоты в зависимости от шага посадки, которые представлены в табл. 4.7.

Таблица 4.7 – Значения Н:D в зависимости от шага посадки

Шаг посадки, м	1	2	3	4	5	6
Относительная высота ствола	130	98	79	65	55	46

Известно, что конкурентные взаимоотношения между деревьями становятся опасными для их существования, когда значения относительной высоты переходят за 100 (Вольнец и др., 2009; Кузьмичев, 2013). С увеличением значений Н:D возрастает диспропорция роста деревьев по диаметру и высоте. Чем выше значение показателя Н:D, тем в большей мере выражен прирост в высоту, нежели в толщину (Блонская, Шайбакова, 2014). Древесные растения сохраняют свою устойчивость и жизнеспособность если пропорции их органов не выходят за определенные границы, свойственные тому или иному виду (Демаков, 2000).

По нашим данным более 97% деревьев березы в исследуемых посадках не достигли критического значения. Причем критичные условия для их жизнедеятельности могут создаваться при шаге посадки менее 2 м (табл. 4.7). Известно, что значения относительной высоты деревьев близкие к 80 указывают на достаточную для нормального роста и развития устойчивость деревьев (Pretzsch, 2009). По данным табл. 4.7, такие значения Н:D характерны для шага посадки 3 м. Такой шаг посадки будет способствовать формированию устойчивых насаждений с пропорциональным ростом по высоте и диаметру. Это соответствует результатам исследований других авторов (Гайсин и др., 2011). Таким образом, при создании в го-

роде озеленительных посадок из березы, шаг посадки должен составлять не менее 3 м. В то же время, при увеличении его в фазе посадки, отпадает необходимость ранних разреживаний (Боговая, 2014). Поэтому, учитывая светолюбивость березы повислой, можно рекомендовать увеличение шага посадки до 4–5 метров. При более широком шаге посадки вследствие ажурности кроны деревьев березы, зеленые насаждения будут менее эффективно выполнять санитарно-гигиенические функции (Сродных, Денeko, 2004). Известно, что деревья лучше развиваются, при прочих равных условиях, если их кроны не соприкасаются с кронами соседних деревьев (Артемьев, 2003). По нашим данным такие условия в озеленительных посадках березы создаются именно при шаге посадки 4–5 м.

### 4.3. Особенности роста деревьев

Эффективность ведения зеленого хозяйства в крупных городах во многом зависит от степени изученности закономерностей роста деревьев и их совокупностей в озеленительных посадках. Они являются теоретической основой для составления таксационных нормативов и осуществления хозяйственных мероприятий в городских насаждениях. С.Л. Шевелев (2007) отмечает, что для перехода на качественно новый уровень ведения лесного хозяйства необходимо совершенствование и частичное изменение лесотаксационных нормативов. Это относится и к ведению зеленого хозяйства в городских условиях, где упор ставится на выращивание устойчивых древостоев с высокими санитарно-гигиеническими свойствами (Бобров, 1977).

На Среднем Урале большой вклад в изучение березовых насаждений и разработку для них таблиц хода роста внесли Д.А. Милованович (1928) и Л.А. Лысов (1984). В городских озеленительных посадках березы таксационные исследования не проводились.

Согласно бонитировочной шкале М.М. Орлова посадки березы на всех опытных участках характеризуются достаточно высоким классом бонитета, в среднем по всему массиву экспериментальных данных он составляет  $I,6 \pm 0,11$  (рис. 4.11).

Высокие значения класса бонитета на исследуемых объектах, на наш взгляд,

объясняются экологической пластичностью березы к условиям городской среды, незначительной степенью конкурентных взаимоотношений между деревьями и использованием при создании посадок улучшенного в генетическом отношении посадочного материала.

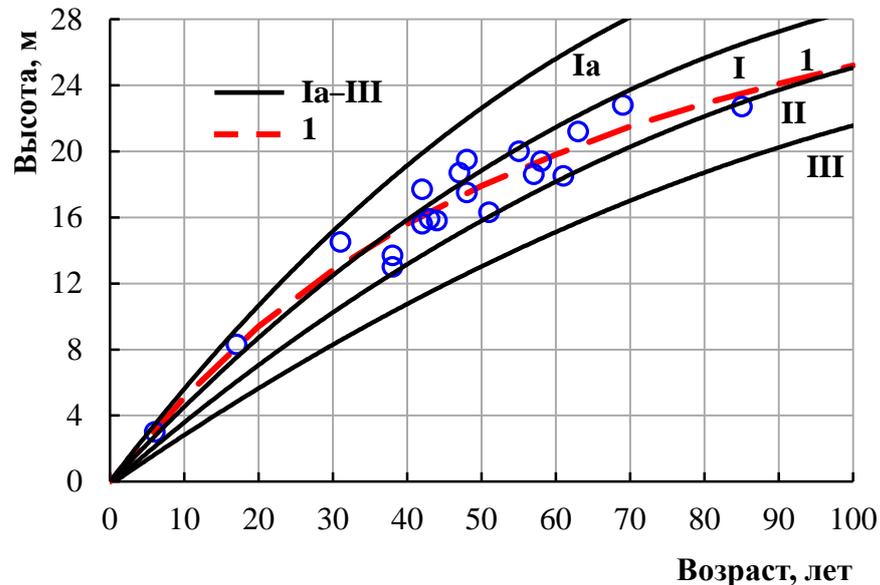


Рисунок 4.11 – Ход роста по высоте исследуемых озеленительных посадок:

1 – линия возрастной динамики высот в озеленительных посадках;

Ia–III – линии соответствующих классов бонитета по шкале М.М. Орлова

Характер возрастной динамики средних высот озеленительных посадок отличается от изменений высот, представленных в общепонитировочной шкале М.М. Орлова. С увеличением возраста в озеленительных посадках происходит понижение класса бонитета. Так, средние высоты на исследуемых объектах до 40 лет тяготеют к линии первого класса бонитета. С увеличением возраста кривая изменения этого показателя переходит от средней линии первого класса к нижней его границе и к 90 годам понижается до линии второго класса бонитета. Аналогичная картина наблюдается в березовых древостоях Среднего Урала: березняки одной группы типов леса переходят из одного класса бонитета в другой (Луганский, Лысов, 1991).

Анализ экспериментальных материалов позволяет отметить тенденцию снижения класса бонитета с повышением техногенных нагрузок. При прочих равных

условиях средние высоты на объектах с более высокими техногенными нагрузками заметно ниже.

Как отмечалось выше, особенности строения озеленительных просадок дают основание считать их специфическим объектом таксации. Это вызывает интерес изучения их в возрастной динамике и составление соответствующих таксационных нормативов.

Исследование зависимостей таксационных показателей озеленительных посадок от их возраста производилось графоаналитическим способом. Динамика высот и диаметров изучалась на основе графиков зависимости между средними значениями этих показателей и возрастом на опытных участках. На основе анализа графических данных подбирались функции роста, наилучшим образом описывающие указанные зависимости. Эти работы выполнялись в статистико-графической системе Statistica 10. Была проведена оценка возможности использования для описания возрастной динамики средних высот и диаметров следующих функций:

$$\text{Корсунь: } T = A^2/(a+bA+cA^2); \quad (4.32)$$

$$\text{Ассманн: } \lg T = a+b \lg A+c(\lg A)^2; \quad (4.33)$$

$$\text{Теразаки: } T = a \exp^{-bA}, \quad (4.34)$$

где:  $T$  – среднее значение таксационного показателя на опытном участке;

$a, b, c$  – коэффициенты уравнения.

В специальной литературе отмечается, что эти модели в достаточной мере способны аппроксимировать значения изучаемых показателей в разные стадии онтогенеза насаждений (Малышев, Мурзинов, 2012; Петровский и др., 2012).

Выбор лучшей функции для описания возрастной динамики средних высот и диаметров производился на основе расчета следующих статистических показателей: коэффициента детерминации, критерия Фишера и среднеквадратической ошибки. Значения указанных статистик для каждой из указанных выше функций приведены в табл. 4.8.

На основе данных, приведенных в табл. 4.8, предпочтение в настоящих исследованиях нами отдано функции Корсуны. Она, в отличие от двух других, характеризуется лучшими статистическими показателями: высокими коэффициен-

тами детерминации (0,931 при описании высот и 0,881 при описании диаметров), незначительными среднеквадратическими ошибками (1,3 м и 3,15 см) и значениями критерия Фишера, превышающими стандартные значения на 5% уровне значимости (1165,9 и 515,2).

Таблица 4.8 – Статистические показатели оцениваемых функций

Функции роста	Коэффициент детерминации	Критерий Фишера	Среднеквадратическая ошибка
Высота, м			
Корсунь	0,931	1165,9	±1,30
Ассманн	0,931	1164,4	±1,30
Теразаки	0,904	1315,1	±1,50
Диаметр, см			
Корсунь	0,881	515,2	±3,15
Ассманн	0,880	514,7	±3,15
Теразаки	0,857	682,9	±3,35

С учетом вышеизложенного, с использованием массива экспериментальных данных получены следующие уравнения, характеризующие возрастную динамику средних высот и диаметров:

$$H = A^2 / (1,680 + 1,564A + 0,024A^2), \quad R^2 = 0,931; \quad (4.35)$$

$$D = A^2 / (2,814 + 1,095A + 0,012A^2), \quad R^2 = 0,881. \quad (4.36)$$

Статистические показатели уравнений (4.35) и (4.36) достоверны на 5% уровне значимости. Значения коэффициента детерминации свидетельствуют, что разработанные уравнения адекватны и корректны экспериментальным данным.

Более наглядно, с представлением экспериментальных значений, изменение средних высот и диаметров деревьев с увеличением возраста показано на рис. 4.12.

Представленные на рис. 4.12 материалы подтверждают сделанное ранее заключение о правильности выбора аппроксимирующей функции и адекватности полученных уравнений закономерностям роста деревьев по высоте и диаметру в исследуемых озеленительных посадках.

На основе уравнений (4.35) и (4.36) получены значения средних высот и диаметров по десятилетиям возраста, которые представлены в табл. 4.9.

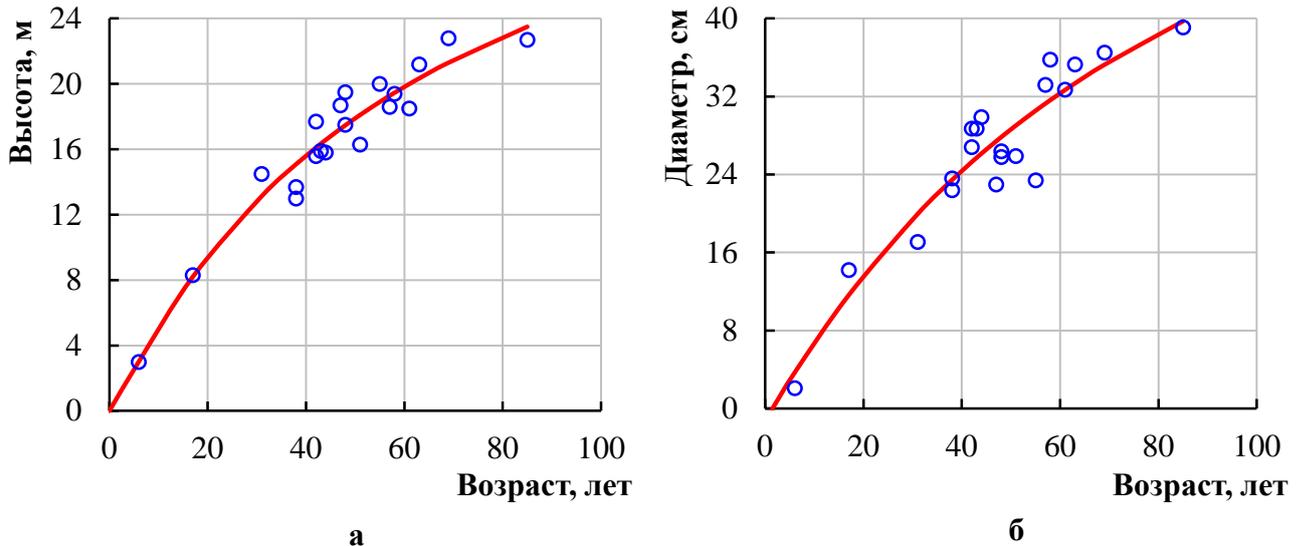


Рисунок 4.12 – Зависимость средних высот (а) и диаметров (б) от возраста в озеленительных посадках березы повислой

По данным учетных деревьев для каждого опытного участка определены средние видовые числа. Выявлено, что диапазон варьирования этого показателя по опытным участкам достаточно широкий (от 0,332 до 0,435).

В специальной литературе отмечается, что старое видовое число очень тесно связано с высотой деревьев. Причем, многие исследователи указывают, что при составлении таблиц хода роста древостоев целесообразно использовать зависимость от высоты не видового числа, а видовой высоты  $H_f$  (Загреев, 1978; Луганский, Нагимов, 1994). Это связано с тем, что связь видовой высоты древостоев от их высоты передается более простым уравнением – уравнением прямой.

Результаты наших исследований не противоречат литературным данным. На рис. 4.13 показана зависимость видовой высоты деревьев от их высоты в исследуемых озеленительных посадках березы повислой. Графические данные наглядно указывают на прямолинейный характер связи между средней видовой высотой деревьев и их высотой. Следует отметить, что средние видовые высоты на исследуемых объектах изменяются в пределах от 5,41 до 8,02.

По соответствующим данным опытных участков разработано следующее уравнение зависимости видовой высоты от высоты:

$$H_f = 0,277H + 1,85, \quad R^2=0,733. \quad (4.38)$$

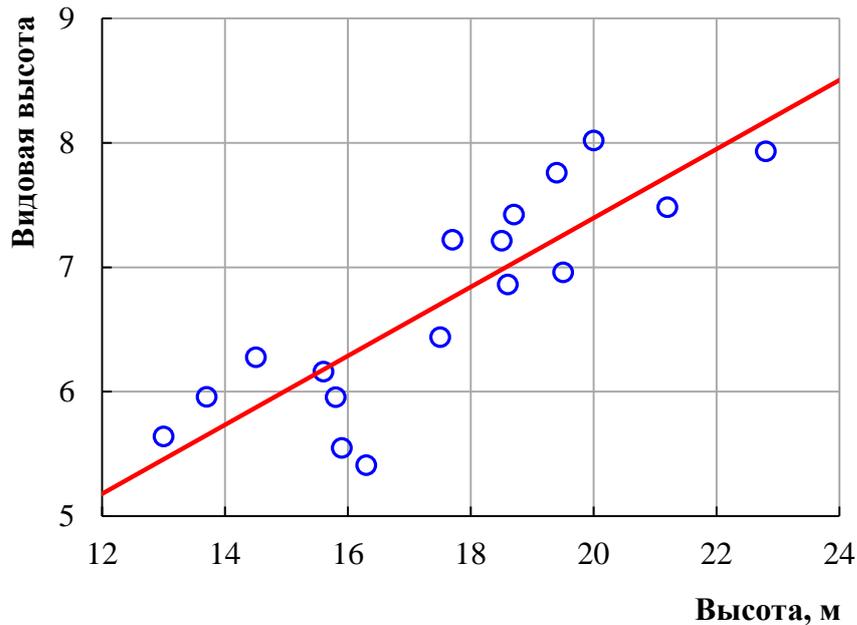


Рисунок 4.13 – Зависимость видовой высоты от высоты в озеленительных посадках березы повислой

Статистические показатели уравнения (4.38) достоверны на 5% уровне. Значения коэффициента детерминации свидетельствуют о его адекватности и корректности экспериментальным данным.

На основе табулирования уравнения (4.38) рассчитаны видовые высоты по классам возраста (табл. 4.9). При этом в уравнение последовательно подставлялись ранее определенные средние высоты в соответствующих десятилетиях возраста.

Возрастная динамика среднего объема деревьев в исследуемых озеленительных посадках выявлялась по формуле:

$$V = G_{1,3}Hf. \quad (4.39)$$

При определении объема по формуле (4.39) использовались предварительно выровненные (определенные по уравнениям) исходные данные, поэтому необходимость разработки отдельного уравнения, описывающего зависимость объема деревьев от их возраста, отпадала. Видовые числа, а также текущее и среднее изменение объема также определялись расчетным способом.

Таблицы возрастной динамики таксационных показателей деревьев озеленительных посадок целесообразно дополнить данными о параметрах крон. Развитие

крон во многом определяют санитарно-гигиенические, экологические и эстетические функции городских насаждений. В этой связи на всех объектах исследований у учетных деревьев были определены следующие параметры крон: протяженность, диаметр, площадь поверхности и объем. Первые два параметра измерялись непосредственно на растущих деревьях, а расчет последних производился по формулам (3.3–3.4), которые приведены в разделе 3.2.

Таблица 4.9 – Возрастная динамика таксационных показателей стволов и крон деревьев в озеленительных посадках березы повислой

Возраст, лет	Высота, м	Диаметр, см	Видовое число	Объем ствола, м <sup>3</sup>	Изменение объема ствола, м <sup>3</sup>		Параметры крон			
					среднее	текущее	протяженность, м	диаметр, м	площадь поверхности, м <sup>2</sup>	объем, м <sup>3</sup>
10	5,1	6,7	0,686	0,0123	0,0012	–	4,4	2,5	19,8	4,3
20	9,4	13,6	0,492	0,0671	0,0034	0,0054	7,6	3,8	51,0	11,4
30	12,8	19,4	0,430	0,1629	0,0054	0,0095	10,2	4,7	82,9	18,8
40	15,6	24,4	0,400	0,2919	0,0073	0,0129	12,3	5,4	113,7	26,0
50	17,9	28,6	0,382	0,4396	0,0088	0,0148	14,0	5,9	141,7	32,6
60	19,8	32,3	0,371	0,6014	0,0100	0,0162	15,4	6,4	167,3	38,6
70	21,5	35,6	0,362	0,7748	0,0111	0,0173	16,6	6,8	191,4	44,3
80	22,9	38,4	0,356	0,9438	0,0118	0,0169	17,7	7,1	212,4	49,3
90	24,1	41,0	0,351	1,1174	0,0131	0,0174	18,6	7,4	231,8	53,9
100	25,2	43,2	0,347	1,2827	0,0128	0,0165	19,4	7,6	249,4	58,0

Анализ литературных данных показал, что при исследованиях древесного полога наиболее информативными и технологичными являются следующие связи: протяженности крон деревьев с их высотой, диаметра крон с диаметром стволов на высоте груди, площади поверхности и объема крон с их линейными размерами (протяженностью и диаметром). В этой связи, для оценки возрастной динамики параметров крон в исследуемых озеленительных посадках использована следующая система регрессионных уравнений:

$$\left. \begin{array}{l}
 \text{I. } S_k = f(L_k, D_k); V_k = f(L_k, D_k); \\
 \text{II. } D_k = f(D); L_k = f(H); \\
 \text{III. } D = f(A); H = f(A).
 \end{array} \right\} \quad (4.40)$$

Независимые переменные I-го уравнения являются зависимыми во II-м, а независимые переменные II-го – зависимыми в III-м. Характеристика уравнений I-го и II-го уровня приведена в разделе 4.2. На основе табулирования уравнений системы (4.40), получены искомые таксационные показатели. Итоговые данные возрастной динамики таксационных показателей стволов и крон деревьев озеленительных посадок березы представлены в табл. 4.9.

Следует отметить, что в специальной литературе нам не удалось найти табличных материалов, в которых приведена возрастная динамика таксационных показателей стволов и крон деревьев в озеленительных посадках. В этом отношении разработанная таблица является оригинальной. На основе ее данных можно произвести объективную оценку закономерностей роста деревьев березы и прогнозировать их возрастные изменения в городских условиях.

Для выявления особенностей роста березы повислой в городских озеленительных посадках производилось сопоставление полученных нами данных с данными из таблиц хода роста сомкнутых естественных березняков Среднего Урала Л.А. Лысова (табл. 4.10). Для сравнения подобраны древостои березы, наиболее близкие к исследуемым посадкам по возрастной динамике средних высот, т.е. по классу бонитета. Таковыми оказались березняки разнотравной и ягодниковой группы типов леса.

Наглядно сопоставление хода роста древостоев березы повислой по высоте и диаметру в исследуемых озеленительных посадках и естественных насаждениях показано на рис 4.14.

Таблица 4.10 – Сравнительные таксационные показатели древостоев березы в городских озеленительных посадках с эскизами таблиц хода роста естественных древостоев березы Среднего Урала (Лысов, 1984)

Возраст, лет	Высота, м			Диаметр, см			Видовое число			Объем ствола, м <sup>3</sup>		
	наши данные	по данным Л.А. Лысова	отклонения, %	наши данные	по данным Л.А. Лысова	отклонения, %	наши данные	по данным Л.А. Лысова	отклонения, %	наши данные	по данным Л.А. Лысова	отклонения, %
10	5,1	5,2	-1,96	6,7	3,7	44,78	0,686	0,782	-13,99	0,0123	0,0044	64,23
20	9,4	9,9	-5,32	13,6	7,3	46,32	0,492	0,590	-19,92	0,0671	0,0246	63,34
30	12,8	13,7	-7,03	19,4	10,6	45,36	0,430	0,537	-24,88	0,1629	0,0648	60,22
40	15,6	16,9	-8,33	24,4	13,8	43,44	0,400	0,486	-21,50	0,2919	0,1227	57,97
50	17,9	19,4	-8,38	28,6	16,7	41,61	0,382	0,464	-21,47	0,4396	0,1972	55,14
60	19,8	21,2	-7,07	32,3	19,1	40,87	0,371	0,456	-22,91	0,6014	0,2762	54,07
70	21,5	22,4	-4,19	35,6	20,8	41,57	0,362	0,454	-25,41	0,7748	0,3460	55,34
80	22,9	23,4	-2,18	38,4	22,3	41,93	0,356	0,451	-26,69	0,9438	0,4131	56,23
90	24,1	24,2	-0,41	41,0	24,0	41,46	0,351	0,447	-27,35	1,1174	0,4892	56,22
100	25,2	24,8	1,59	43,2	25,5	40,97	0,347	0,445	-28,24	1,2827	0,5643	56,01

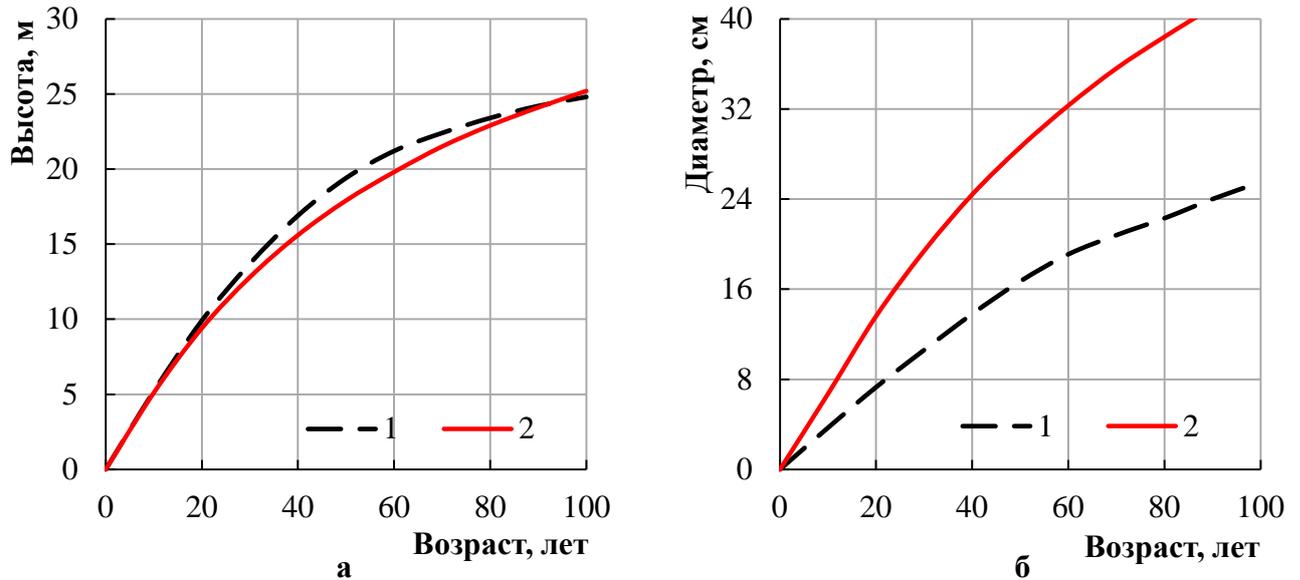


Рисунок 4.14 – Возрастная динамика средних высот (а) и диаметров (б) березы в естественных древостоях разнотравной и ягодниковой групп типов леса (1) и городских озеленительных посадок (2)

Графические данные свидетельствуют, что сравниваемые древостои близки по характеру возрастной динамики средних высот. Максимальное отклонение между ними по средней высоте в пользу естественных древостоев наблюдается в 50-летнем возрасте и составляет всего 8,4% (табл. 4.10). Тем не менее, следует отметить тенденцию менее выраженного падения с возрастом интенсивности прироста по высоте в озеленительных посадках, чем в естественных древостоях. В условиях города этот процесс более растянут по времени. Максимальный текущий прирост по высоте и в естественных и в городских условиях наблюдается в возрасте 10–20 лет.

Древостои березы озеленительных посадок и естественных насаждений существенно отличаются по диаметру на протяжении всего исследуемого возрастного периода. Причем преимущество городских посадок по этому показателю в абсолютных величинах над естественными древостоями с возрастом закономерно повышается. Относительные расхождения в пользу городских насаждений с увеличением возраста повышаются, достигают максимума в 20–25 лет (около 46%), а затем закономерно снижаются (до 41 % в 100-летнем возрасте). Как и в случае со средней

высотой, процесс падения с увеличением возраста темпов прироста по диаметру в городских посадках идет значительно медленнее (более растянут по времени), чем в естественных насаждениях. Максимальный текущий прирост по диаметру и в естественных и городских условиях также наблюдается в возрасте 10–20 лет.

В данных исследования особый интерес представляет сравнение озеленительных посадок и естественных древостоев по полнодревесности стволов березы. Этот показатель, безусловно, зависит от густоты стояния деревьев и конкурентных взаимоотношений между ними. По степени выраженности этих факторов, сравниваемые объекты существенно отличаются. Изменение видовых чисел березы с возрастом в естественных древостоях разнотравной и ягодниковой групп типов леса и городских озеленительных посадках наглядно показано на рис. 4.15а.

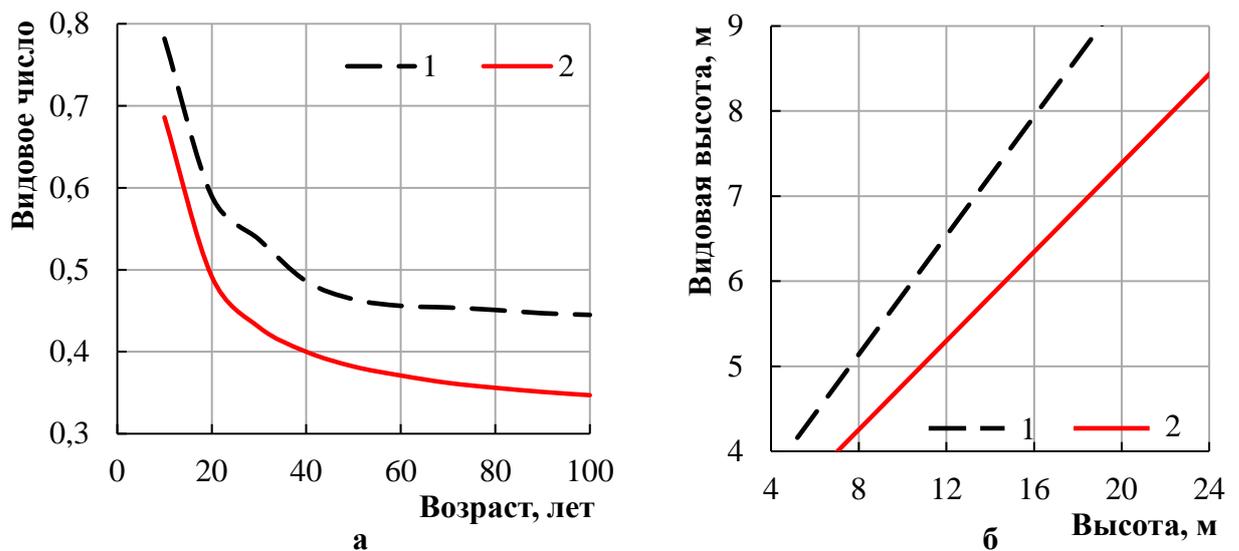


Рисунок 4.15 – Изменение видовых чисел (а) с возрастом и видовых высот (б) с высотой у деревьев березы в естественных древостоях разнотравной и ягодниковой групп типов леса (1) и городских озеленительных посадок (2)

Из графических данных видно, что в одинаковом возрасте деревья березы в озеленительных посадках отличаются существенно меньшими значениями видовых чисел, чем в естественных насаждениях. С увеличением возраста различия по этому показателю между сравниваемыми объектами закономерно возрастают. Если в возрасте 10 лет превосходство естественных древостоев над городскими посадками по

значениям видовых чисел составляет 14,0%, то в 100 лет – уже 28,2% (табл. 4.10).

На рис. 4.15б показано изменение средних видовых высот сравниваемых объектов с увеличением их средних высот. Графические данные свидетельствуют, что по всему исследуемому интервалу высот линия связи указанных показателей в наших опытных объектах располагается значительно ниже, чем в естественных древостоях. Это означает, что при одинаковой средней высоте береза в озеленительных посадках отличается меньшими значениями видовых чисел.

При одинаковых значениях возраста и высоты дерева березы в озеленительных посадках имеют значительно больший объем, чем в естественных сомкнутых древостоях (табл. 4.10, рис. 4.16). Разница по среднему объему деревьев в пользу городских посадок является односторонней и систематической. Причем в абсолютном выражении она с возрастом закономерно увеличивается, а в относительном, наоборот, снижается (от 64,2% в 10-летнем возрасте, до 56,0% в 100-летнем). Представленные материалы свидетельствуют, что в формировании объема меньшая полндревесность стволов в озеленительных посадках с избытком компенсируется за счет возрастания их диаметра. Максимальный текущий прирост по объему в исследуемых посадках наблюдается в более высоком возрасте (в 60–70 лет), чем в естественных древостоях (в 50–60 лет).

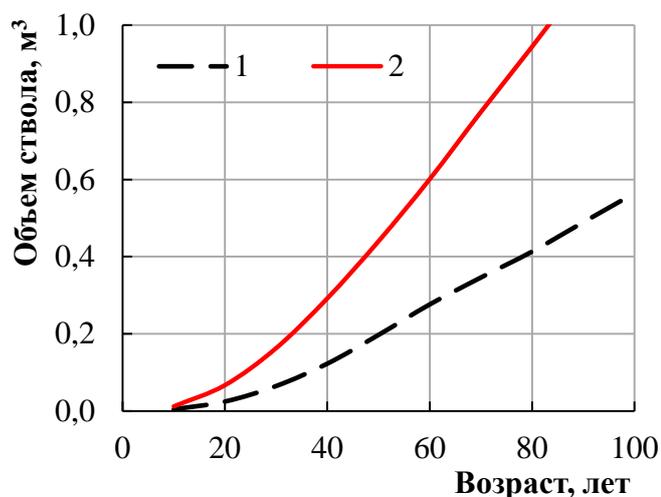


Рисунок 4.16 – Изменение объемов стволов березы с возрастом в естественных древостоях разнотравной и ягодниковой групп типов леса (1) и городских озеленительных посадок (2)

Как указывалось выше, несомненный интерес представляет анализ возрастной динамики параметров кроны деревьев в исследуемых посадках. Результаты исследований свидетельствуют, что возрастные изменения линейных размеров кроны, а также площади ее поверхности и объема носят вполне закономерный характер (табл. 4.9, рис. 4.17).

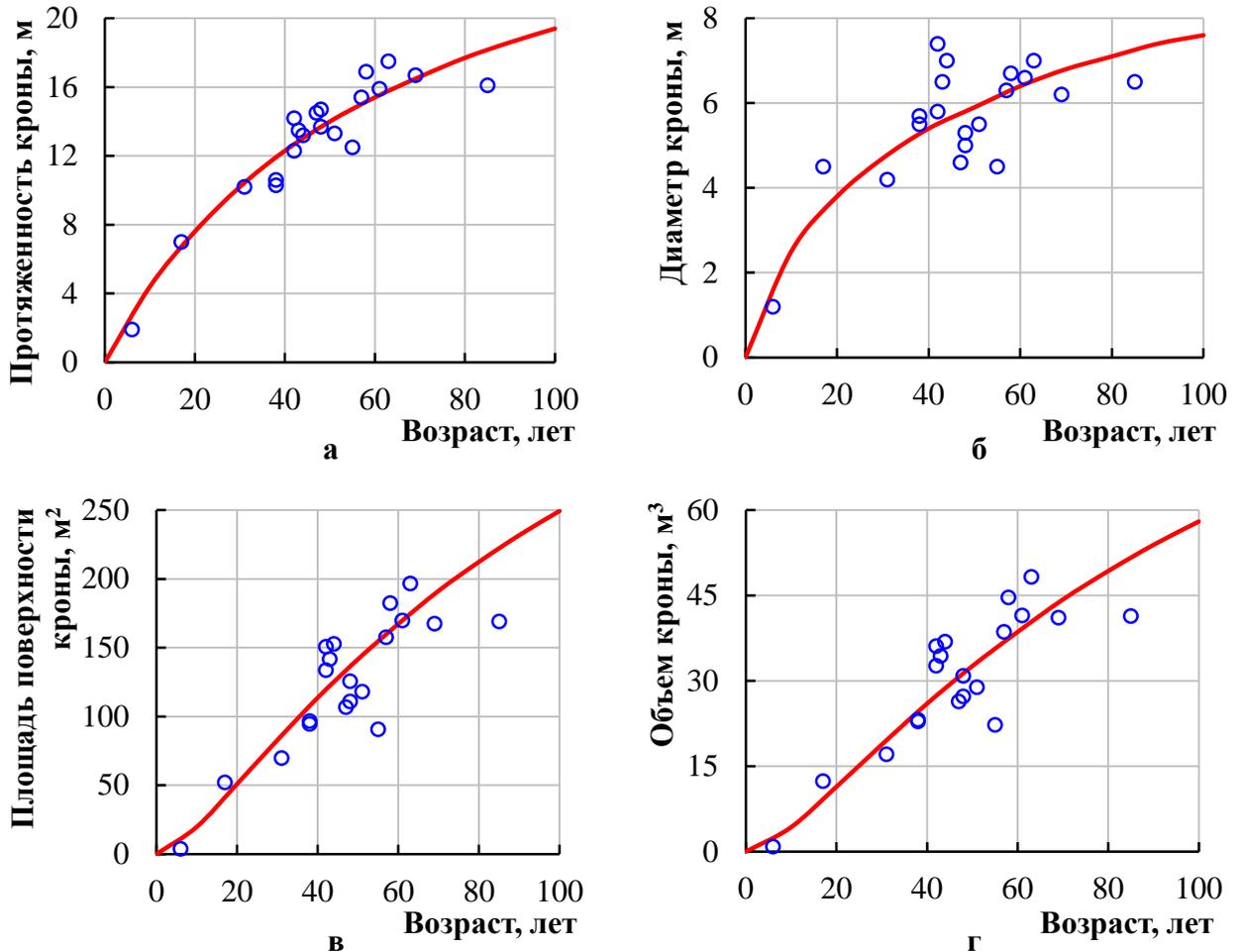


Рисунок 4.17 – Зависимость протяженности (а), диаметра (б), площади поверхности (в) и объема (г) крон от возраста деревьев в озеленительных посадках березы

Зависимости всех анализируемых таксационных показателей крон от возраста деревьев криволинейны: описываются выпуклой кривой, не имеющей в исследуемом возрастном диапазоне точки перегиба. Выявляется, что за исследуемый период (с 10 до 100 лет) темпы увеличения исследуемых параметров крон существенно различаются. Так, среднее значение диаметра крон за этот период возраст-

тает в 3,0 раза, протяженности крон – в 4,4 раза, площади поверхности крон – в 12,5 раза и объема крон – в 13,5 раза. Максимальное текущее изменение линейных размеров крон (диаметра и протяженности) наблюдается в возрасте 10–20 лет, а площади поверхности и объема крон – в 20–30 лет.

В заключение следует отметить, что выявить особенности возрастной динамики параметров крон деревьев березы в озеленительных посадках на основе принятой схемы не удалось. Это связано с тем, что нам в специальной литературе не удалось обнаружить необходимые для сравнения данные по березнякам Среднего Урала.

### **Выводы по главе:**

1. Дифференциация деревьев березы повислой по размерам стволов и крон в озеленительных посадках города выражена в значительно меньшей степени, чем в сомкнутых естественных древостоях. Это является косвенным показателем их меньшей стабильности и устойчивости. По уменьшению степени изменчивости таксационные показатели можно расположить в следующий ряд: высота деревьев (среднее значение коэффициента вариации составляет 7,86%), протяженность крон (11,43%), диаметр крон (12,11%), диаметр стволов (13,21%), объем крон (20,83%) и площадь поверхности крон (20,83%).

2. Изменчивость таксационных показателей деревьев при прочих равных условиях уменьшается с увеличением их возраста, увеличением шага посадки и ухудшением санитарного состояния зеленых насаждений.

3. Отличительными особенностями рядов распределения деревьев по диаметру и высоте в озеленительных посадках являются более короткий диапазон изменения диаметров и высот (почти в два раза), менее выраженную положительную асимметрию и более выраженную плосковершинность.

4. Взаимосвязи между различными таксационными показателями деревьев в озеленительных посадках в основном носят прямолинейный характер. Прямолинейная пропорциональность свидетельствует об отсутствии значимой конкуренции между растениями.

5. Озеленительные посадки в отличие от сомкнутых древостоев отличаются

существенно низкими значениями относительной высоты. Причем этот показатель закономерно уменьшается с увеличением шага посадки. Анализ значений относительной высоты показывает, что более чем у 97% деревьев они меньше критической величины 100 и степень конкурентных взаимоотношений между деревьями в озеленительных посадках не представляет опасности для их существования. Исследуемые посадки могут успешно функционировать и не требуют проведения срочных хозяйственных мероприятий.

6. Отличительные особенности строения озеленительных посадок, на наш взгляд, связаны, во-первых, с использованием при создании озеленительных посадок одновозрастного, достаточно однородного в генетическом отношении посадочного материала, а во-вторых – условиями произрастания деревьев в городской среде. Условия произрастания, с одной стороны характеризуются отсутствием значимых взаимоотношений между деревьями, а с другой – влиянием техногенных нагрузок, заметно ухудшающих качество среды. При ухудшении качества среды биологический потенциал роста деревьев реализуются в меньшей степени. Это, безусловно, при прочих равных условиях сдерживает достижение деревьями более крупных размеров и укорачивает диапазон варьирования показателей.

7. Согласно бонитировочной шкале М.М. Орлова посадки березы на всех опытных участках характеризуются достаточно высоким классом бонитета, в среднем по всему массиву экспериментальных данных он составляет I,6. Высокие значения класса бонитета на исследуемых объектах, на наш взгляд, объясняются экологической пластичностью березы в условиях городской среды, незначительной степенью конкурентных взаимоотношений между деревьями и использованием при создании посадок улучшенного в генетическом отношении посадочного материала.

8. Характер возрастной динамики средних высот озеленительных посадок отличается от изменений высот, представленных в общебонитировочной шкале М.М. Орлова. С увеличением возраста в озеленительных посадках происходит понижение класса бонитета. Наблюдается тенденция снижения класса бонитета с повышением техногенных нагрузок. При прочих равных условиях средние высоты на объектах с более высокими техногенными нагрузками заметно ниже.

9. Возрастная динамика среднего диаметра и средней высоты деревьев в озеленительных посадках корректно описывается функцией Корсуня, а зависимость видовой высоты от средней высоты – уравнением прямой.

10. Особенностью хода роста деревьев березы по диаметру, высоте и объему в озеленительных посадках является замедление процесса падения с возрастом интенсивности прироста этих показателей по сравнению с аналогичным процессом в естественных сомкнутых насаждениях. Максимальный текущий прирост деревьев по диаметру и высоте наблюдается в 10–20 лет, а по объему в 60–70 лет (на 10 лет позже, чем в естественных древостоях).

11. В озеленительных посадках по сравнению с сомкнутыми естественными древостоями формируются менее полнодревесные стволы, характеризующиеся при одинаковой высоте существенно большими значениями диаметра и объема. Следовательно, в озеленительных посадках в величине объема стволов меньшая полнодревесность с избытком компенсируется за счет возрастания их диаметра.

В целом результаты данных исследований дают основание считать озеленительные посадки в городской черте специфическим объектом таксации.

## **5. ТАБЛИЦЫ ОБЪЕМОВ СТВОЛОВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ**

### **5.1. Оценка возможности применения программно-измерительного комплекса на базе ГИС Field-Map для определения объема стволов растущих деревьев**

В последнее время в практику лесотаксационных работ, как в России, так и за рубежом, активно внедряются программно-измерительные комплексы, благодаря которым появляется возможность получения необходимой информации о растущих деревьях (Clark и др., 2000; Букша, 2006; Вишневский, 2009; Barrett и др., 2016). Однако возможность их применения для создания лесотаксационных нормативов, в т.ч. таблиц объемов стволов, остается под вопросом. В этой связи в программу исследований был включен вопрос об оценке точности определения таксационных показателей у растущих деревьев с помощью ПИК Field-Map. Наибольший интерес вызывает корректность определения объема стволов, т.к. в случае получения положительных результатов открываются широкие возможности для разработки объемных и сортиментных таблиц для городских насаждений, в которых нет возможности отбора и рубки модельных (учетных) деревьев.

Для решения данного вопроса были выявлены городские насаждения, в которых запланированы хозяйственные мероприятия с рубкой деревьев. Все необходимые измерения с помощью ПИК были выполнены до рубки деревьев. После рубки производилась таксация деревьев по общепринятой методике (Нагимов и др., 2013).

В научной и учебной литературе по таксации леса (Захаров, 1967; Анучин, 1982; Верхунов, Черных, 2009) указаны два главных направления, используемые в качестве теоретической и методической основы математических методов определения объема ствола дерева:

- 1) математическое описание образующей ствола, при вращении которой вокруг оси симметрии образуется тело, по объему равное искомому стволу и имеющее аналогичную с ним форму;
- 2) приравнивание формы ствола и его частей к форме тех или иных правильных тел вращения.

В обоих случаях ствол дерева рассматривается как тело вращения. В этой связи степень отклонения формы ствола или его частей от формы тел вращения напрямую влияет на погрешности при определении объема стволов различными стереометрическими приемами. Поэтому для увеличения точности определения объема ствол делится на секции – короткие отрезки, которые по своей форме максимально приближаются к формам усеченных тел вращения. В этом случае погрешности в определении объема ствола зависят в основном от точности определения площадей сечений (диаметров) и количества высотных отметок, на которых они измерены.

Для оценки точности определения таксационных показателей ствола с помощью ПИК произведено сопоставление соответствующих данных, полученных ПИК с результатами таксации срубленного дерева. При этом таксационные показатели, определенные у срубленного дерева, условно принимались за «истинные». Вначале производилось сопоставление образующих стволов учетных деревьев, построенных по данным измерения диаметров ПИК и с использованием методики таксации срубленных деревьев (Нагимов и др., 2013). Данное сопоставление на примере учетного дерева №2 с первого опытного участка (порода – береза, возраст – 60 лет, диаметр – 21,1 см, высота – 21,13 м) показано на рис. 5.1. Образующие стволы, построенные для других учетных деревьев приведены в прил. 3.

Выявляется, что изображенные на данном рисунке образующие ствола близки по форме. Их положения и взаимные пересечения на разных высотах ствола свидетельствуют об отсутствии грубых систематических отклонений между сравниваемыми образующими. Подобные результаты фиксируются при анализе графиков по другим учетным деревьям (прил. 3). Этот факт позволяет констатировать, что результаты измерения диаметров ствола настоящим программно-измерительным комплексом дают достаточно точное представление о его форме и сбеге.

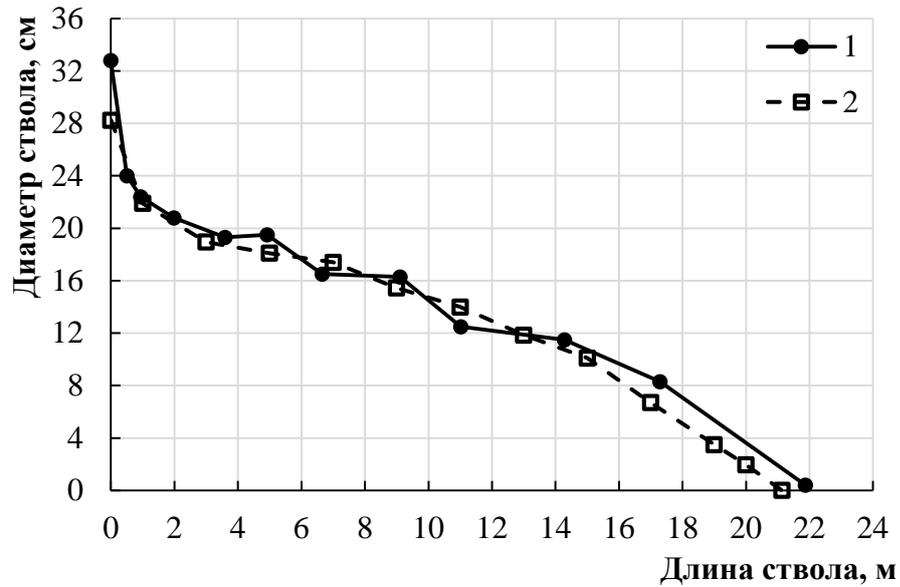


Рисунок 5.1 – Образующие ствола, построенные по данным:

1 – программно-измерительного комплекса, 2 – таксации срубленного дерева

Известно, что точность определения объема ствола дерева зависит от точности измерения его диаметров на различных высотных отметках, а также его высоты. При этом при одинаковой относительной точности измерения диаметра и высоты, величина погрешности в объеме от погрешности измерения диаметра в два раза больше, чем от погрешности измерения высоты (Захаров, 1967). Поэтому ошибки в определении диаметров ствола должны быть сведены к минимуму.

Учитывая вышеизложенное, на первом этапе настоящих исследований была проведена оценка точности измерения диаметров ствола у растущих деревьев на фиксированных высотных отметках с использованием ПИК. Для решения этой задачи произведено сравнение значений диаметров стволов, измеренных при помощи ПИК, с диаметрами, определенными при таксации срубленного дерева. Данное сопоставление сопровождалось расчетом систематических, среднеквадратических и общих для всех измерений ошибок. Были определены ошибки измерения ПИК диаметров ствола на относительных высотах 1/4, 1/2 и 3/4 высоты дерева (табл. 5.1–5.3). Известно, что указанные диаметры ствола являются весьма информативными (учитываются при характеристике формы стволов) и определяются практически во всех лесотаксационных исследованиях.

Таблица 5.1 – Вычисление ошибок измерения  $D_{1/4}$  ПИК Field-Map

Номер участка	Номер дерева	$D_{1/4}$ измеренный, см		Расчет отклонений, %		
		на срубленном дереве	на растущем дереве ПИК	отклонения относительные	отклонения исправленные	квадраты отклонений
1	6	26,0	25,6	-1,38	-0,29	0,08
2	1	18,4	18,6	1,04	2,14	4,57
2	2	18,6	18,5	-0,84	0,25	0,06
2	3	14,4	16,9	17,03	18,12	328,36
2	4	24,7	27,2	9,97	11,07	122,47
2	5	17,7	18,1	2,15	3,24	10,52
2	6	12,3	11,7	-5,32	-4,22	17,84
2	7	21,4	21,9	2,42	3,51	12,35
3	1	15,5	14,7	-4,76	-3,66	13,41
3	2	14,4	14,1	-2,58	-1,49	2,22
3	3	7,9	8,0	0,64	1,73	3,00
3	4	15,6	15,8	1,29	2,39	5,69
3	5	7,8	6,4	-17,53	-16,44	270,22
3	6	25,8	26,4	2,31	3,40	11,56
3	7	25,3	25,3	0,05	1,14	1,30
3	8	21,2	20,1	-5,19	-4,10	16,77
3	9	17,4	17,9	2,65	3,75	14,04
3	10	20,2	20,8	2,73	3,82	14,60
4	1	17,2	16,5	-4,03	-2,93	8,60
4	2	51,7	48,1	-6,94	-5,85	34,25
4	3	14,8	14,0	-5,62	-4,53	20,54
4	4	14,4	13,0	-9,78	-8,69	75,49
4	5	37,7	36,9	-2,12	-1,03	1,06
4	6	12,7	12,4	-2,42	-1,33	1,76
–	–	Итого	-	-68,52	-54,56	990,79
–	–		+	42,29	54,56	–

Приведенные в табл. 5.1 данные показывают, что относительные отклонения  $D_{1/4}$ , измеренных с помощью ПИК, от «истинного» значения этого показателя, варьируют в достаточно широких пределах – от 0,05 до 17,53%. Причем значительное большинство измерений (около 67%) имеют отклонения, не превышающие  $\pm 5\%$ . Рассчитанная на основе этих данных систематическая ошибка измерений составляет -1,09%, а среднеквадратическая –  $\pm 6,56\%$ .

Стоит обратить внимание на учетные деревья №2-3 и №3-5. Если отклонения  $D_{1/4}$  этих деревьев признать грубыми и исключить из дальнейших расчетов, то среднеквадратическая ошибка измерений составит всего  $\pm 4,38\%$ .

Таблица 5.2 – Вычисление ошибок измерения  $D_{1/2}$  ПИК Field-Map

Номер Участка	Номер дерева	$D_{1/2}$ измеренный, см		Расчет отклонений, %		
		на срубленном дереве	на растущем дереве ПИК	отклонения относительные	отклонения исправленные	квадраты отклонений
1	6	16,1	16,2	0,60	3,27	10,67
2	1	14,5	12,7	-12,74	-10,07	101,41
2	2	14,0	13,2	-5,70	-3,03	9,18
2	3	11,0	13,2	19,94	22,61	511,13
2	4	16,0	17,3	7,91	10,58	111,92
2	5	12,0	12,6	4,44	7,11	50,56
2	6	9,3	8,8	-5,13	-2,47	6,08
2	7	16,7	16,6	-0,57	2,10	4,41
3	1	11,7	10,2	-12,71	-10,04	100,82
3	2	10,2	9,6	-5,56	-2,89	8,37
3	3	6,0	6,5	9,37	12,04	144,90
3	4	10,5	10,5	-0,60	2,06	4,26
3	5	6,3	5,7	-9,12	-6,45	41,60
3	6	18,5	16,5	-11,10	-8,43	71,14
3	7	18,3	17,6	-3,84	-1,17	1,37
3	8	16,3	15,9	-2,50	0,17	0,03
3	9	13,0	14,3	9,78	12,45	155,01
3	10	16,2	14,9	-7,80	-5,13	26,29
4	1	14,3	13,9	-2,81	-0,14	0,02
4	2	37,6	36,4	-3,13	-0,46	0,21
4	3	11,7	10,5	-10,64	-7,98	63,62
4	4	10,4	9,6	-8,36	-5,70	32,45
4	5	31,1	30,5	-1,91	0,76	0,57
4	6	10,0	8,8	-11,85	-9,18	84,27
–	–	Итого	-	-116,08	-73,14	1540,29
–	–		+	52,04	73,14	–

Данные табл. 5.2 свидетельствуют, что относительные отклонения  $D_{1/2}$ , измеренных ПИК от «истинных» варьируют в диапазоне от 0,57 до 19,94%. Рассчитанная на основе приведенных в табл. 5.2 материалов систематическая ошибка измерений составляет -3,65%, а среднеквадратическая –  $\pm 7,55\%$ . Как и в предыдущем случае, наибольшая разница между диаметрами, измеренными разными способами, присуща учетному дереву №3-2.

Таблица 5.3 – Вычисление ошибок измерения  $D_{3/4}$  ПИК Field-Map

Номер участка	Номер дерева	$D_{3/4}$ измеренный, см		Расчет ошибок измерения, %		
		на срубленном дереве	на растущем дереве ПИК	отклонения относительные	отклонения исправленные	квадраты отклонений
1	6	9,6	10,2	6,88	6,71	45,08
2	1	8,6	9,2	6,94	6,77	45,78
2	2	7,7	8,5	10,44	10,27	105,48
2	3	6,3	7,6	21,48	21,31	454,27
2	4	9,1	9,6	5,65	5,48	30,05
2	5	5,7	5,7	0,20	0,03	0,00
2	6	4,5	5,8	29,66	29,49	869,87
2	7	9,3	9,5	1,67	1,50	2,24
3	1	6,3	4,9	-23,22	-23,39	546,86
3	2	5,6	5,0	-11,49	-11,66	135,92
3	3	3,3	4,0	20,70	20,53	421,50
3	4	5,5	5,0	-9,35	-9,52	90,71
3	5	2,9	3,0	2,13	1,96	3,83
3	6	8,3	8,8	5,48	5,31	28,17
3	7	8,5	10,2	20,52	20,35	413,96
3	8	9,0	6,0	-33,58	-33,75	1139,08
3	9	8,4	7,8	-7,54	-7,71	59,43
3	10	8,2	8,6	4,37	4,20	17,63
4	1	11,2	9,0	-19,39	-19,56	382,62
4	2	23,9	21,9	-7,97	-8,14	66,28
4	3	7,9	7,1	-9,93	-10,10	102,07
4	4	7,0	7,1	2,01	1,84	3,39
4	5	21,1	20,9	-1,08	-1,25	1,56
4	6	6,9	6,2	-10,50	-10,67	113,92
–	–	Итого	-	-134,06	-135,75	5079,71
–	–		+	138,13	135,75	–

Анализируя данные табл. 5.3 можно сделать вывод, что по  $D_{3/4}$  различия между способами измерения этого показателя более значительны, чем по  $D_{1/4}$ , и  $D_{1/2}$ . Отклонения варьируют в пределах от 0,20 до 33,58%. Систематическая ошибка измерений  $D_{3/4}$  с помощью ПИК составляет +0,36%, а среднеквадратическая –  $\pm 11,82\%$ .

Ошибки измерений  $D_{1/4}$ ,  $D_{1/2}$ ,  $D_{3/4}$  с использованием ПИК указаны в табл. 5.4.

Анализируя данные, представленные в табл. 5,4, следует отметить, что систематические ошибки при измерении диаметров ствола на разных высотных отметках с помощью ПИК не значительны.

Таблица 5.4 – Ошибки измерений  $D_{1/4}$ ,  $D_{1/2}$  и  $D_{3/4}$  с помощью ПИК Field-Map

Показатель	Ошибки измерений, %		
	систематическая	среднеквадратическая	общая
$D_{1/4}$	-1,17	$\pm 4,38$	$\pm 0,93$
$D_{1/2}$	-3,65	$\pm 7,55$	$\pm 1,58$
$D_{3/4}$	+0,36	$\pm 11,82$	$\pm 2,52$

Среднеквадратическая ошибка измерений диаметров ствола закономерно увеличивается при продвижении вверх по стволу. Главным образом это связано с условиями визирования, которые заметно ухудшаются в прикрановой части ствола из-за его худшей просматриваемости. Однако данная особенность варьирования точности определения диаметра ствола не способна оказать значительного влияния на точность определения объема. Это связано с тем, что точность измерения диаметра ствола в нижней его половине, объем которой равен более 80% от общего, удовлетворяет таксационным требованиям. Общая ошибка измерений по данным всех учетных деревьев во всех случаях измерения диаметра менее 3%.

На втором этапе была проведена оценка точности измерения ПИК высоты стволов растущих деревьев. Эта работа проводилась по алгоритму, использованному при оценке точности измерения диаметров стволов (табл. 5.5). Установлено, что относительные отклонения высот, измеренных ПИК, от значений этого показателя, определенных при таксации срубленного дерева, изменяются в более узком диапазоне – от 0,11 до 10,27%. Систематическая ошибка измерений высот ПИК составляет -1,02 %, среднеквадратическая –  $\pm 3,06\%$ , а общая по 24 учетным деревьям –  $\pm 0,65\%$ . Таким образом, высота деревьев с помощью ПИК измеряется значительно точнее, чем их диаметр на различных высотных отметках. Точность определения высоты при помощи этого комплекса соответствует самым строгим требованиям.

Неточности в определении диаметра стволов на различных высотных отметках и высоты приводят к ошибкам в определении их объема (Захаров, 1967). В этой связи на заключительном этапе произведена оценка точности определения ПИК объемов стволов. Для этого у каждого учетного дерева вычислялись объемы стволов следующими способами: по секциям на основе измеренных ПИК диаметров, по специальной функции ПИК и по секционной формуле Губера после рубки деревьев.

Таблица 5.5 – Вычисление ошибок измерения высоты ПИК Field-Map

Номер участка	Номер дерева	H измеренная, м		Расчет отклонений, %		
		на срубленном дереве	на растущем дереве ПИК	отклонения относительные	отклонения исправленные	квадраты отклонений
1	6	20,65	19,68	-4,70	-3,89	15,10
2	1	21,13	21,87	3,50	4,31	18,60
2	2	22,67	22,10	-2,51	-1,70	2,90
2	3	19,74	20,40	3,34	4,15	17,26
2	4	21,96	22,10	0,64	1,45	2,10
2	5	19,63	18,20	-7,28	-6,47	41,91
2	6	15,55	15,10	-2,89	-2,08	4,34
2	7	21,05	21,50	2,14	2,95	8,70
3	1	17,17	17,20	0,17	0,99	0,97
3	2	17,68	17,70	0,11	0,92	0,85
3	3	12,54	12,20	-2,71	-1,90	3,61
3	4	17,14	17,40	1,52	2,33	5,42
3	5	13,24	14,60	10,27	11,08	122,83
3	6	21,56	20,48	-5,01	-4,20	17,63
3	7	22,17	21,29	-3,97	-3,16	9,98
3	8	21,14	20,59	-2,60	-1,79	3,21
3	9	21,14	21,44	1,42	2,23	4,97
3	10	23,05	21,95	-4,77	-3,96	15,69
4	1	16,40	15,81	-3,60	-2,79	7,76
4	2	30,90	31,10	0,65	1,46	2,13
4	3	18,85	18,89	0,21	1,02	1,05
4	4	9,50	8,95	-5,79	-4,98	24,79
4	5	28,95	29,90	3,28	4,09	16,75
4	6	15,90	15,76	-0,88	-0,07	0,01
–	–	Итого	-	-46,72	-36,99	348,55
–	–		+	27,26	36,99	–

При первом способе объем ствола определялся также как и по формуле Губера – суммированием объемов секций. Однако секции имели различную длину. Поэтому в камеральных условиях находились их середины, на которых вычислялись диаметры методом интерполяции. Учитывая небольшую длину секций, особенно в нижней половине ствола, такой подход можно считать вполне корректным и оправданным. Объем отдельно взятой секции определялся умножением ее длины на площадь поперечного сечения на середине.

При автоматическом определении объема встроенная функция ПИК использует нелинейную регрессию, которая на основе точек (высота и диаметр), непо-

средственно методом нелинейных наименьших квадратов находит параметры, описывающие форму ствола. Объем ствола или секции между заданными высотами определяется как пространственный интеграл методом Симпсона.

При оценке точности определения объема ствола первыми двумя способами за условно «истинные» значения принимались объемы, вычисленные по сложной формуле Губера в процессе таксации срубленного дерева. Результаты данных расчетов приведены в табл. 5.6.

Таблица 5.6 – Ошибки определения объема ствола ПИК Field-Mar

Показатель	Ошибки измерений, %		
	систематическая	среднеквадратическая	общая
Объем по секциям на основе измерения диаметров ствола ПИК	-2,83	±6,54	±1,33
Объем ствола по специальной функции ПИК	-5,22	±10,11	±2,07

По материалам, представленным в табл. 5.6 можно сделать вывод, что объемы стволов заметно точнее определяются способом суммирования объемов секций, вычисленных на основе измерения диаметров при помощи ПИК. Определение объема данным способом гарантирует вполне приемлемые результаты: систематическая ошибка составляет -2,83%, среднеквадратическая – ±6,54%, а общая ошибка по 24 учетным деревьям – ±1,33%. В целом значения данных ошибок близки к ошибкам измерения диаметров в нижней трети стволов при помощи ПИК.

С использованием автоматической функции ПИК объемы стволов определяются с более низкой точностью. Систематическая ошибка равна -5,22%, это свидетельствует о значительном систематическом преуменьшении объемов. Для этого метода характерны также более значительные величины среднеквадратической и общей ошибок. Это можно объяснить отсутствием универсальных уравнений, с достаточной точностью передающих характер изменения образующей древесных стволов. Поэтому более предпочтительным способом определения объемов стволов растущих деревьев при помощи ПИК, следует считать способ суммирования объемов секций, на которые может быть разделен ствол по результатам измерения диаметров.

## 5.2. Разработка таблиц объемов стволов

Составление таблиц объемов основывается на положении, что древостои, средние деревья которых обладают одинаковыми таксационными показателями, характеризуются одними и теми же средними объемами для отдельных ступеней толщины, вне зависимости от их возраста, полноты и бонитета (Горский, 1962). В зависимости от набора таксационных показателей, на основе которых определяется объем ствола, выделяются следующие основные виды таблиц объемов:

- 1) баварские таблицы, в которых объемы даны в зависимости от диаметра и высоты для некоторой средней формы ствола;
- 2) таблицы объемов по разрядам высот, где объемы представлены в зависимости от диаметра и разряда высоты для некоторой средней формы стволов;
- 3) таблицы объемов по коэффициентам формы, в которых объемы стволов определяются по диаметру, высоте и форме ствола.

В нашей стране при таксации лесных насаждений наибольшее распространение получили таблицы объемов стволов, составленные по разрядам высот. В основу разрядных шкал положено соотношение между средними диаметрами и высотами древостоев. Такая шкала для естественных березовых древостоев Среднего Урала разработана Л.А. Лысовым (Луганский, Лысов, 1991). Нами произведена проверка корректности использования этой шкалы для составления таблиц объемов березы городских озеленительных посадок. Для этого на указанную шкалу были нанесены экспериментальные данные (соотношение высот и диаметров деревьев), полученные в городских озеленительных посадках (рис. 5.2).

Как видно из данных рис. 5.2, соотношение диаметров и высот деревьев березы в озеленительных посадках не укладывается в рамки разрядной шкалы естественных березняков и резко отличается по своему характеру. Таким образом, при составлении таблиц объемов для городских насаждений следует разработать отдельную разрядную шкалу или выбрать другой метод построения таблиц.

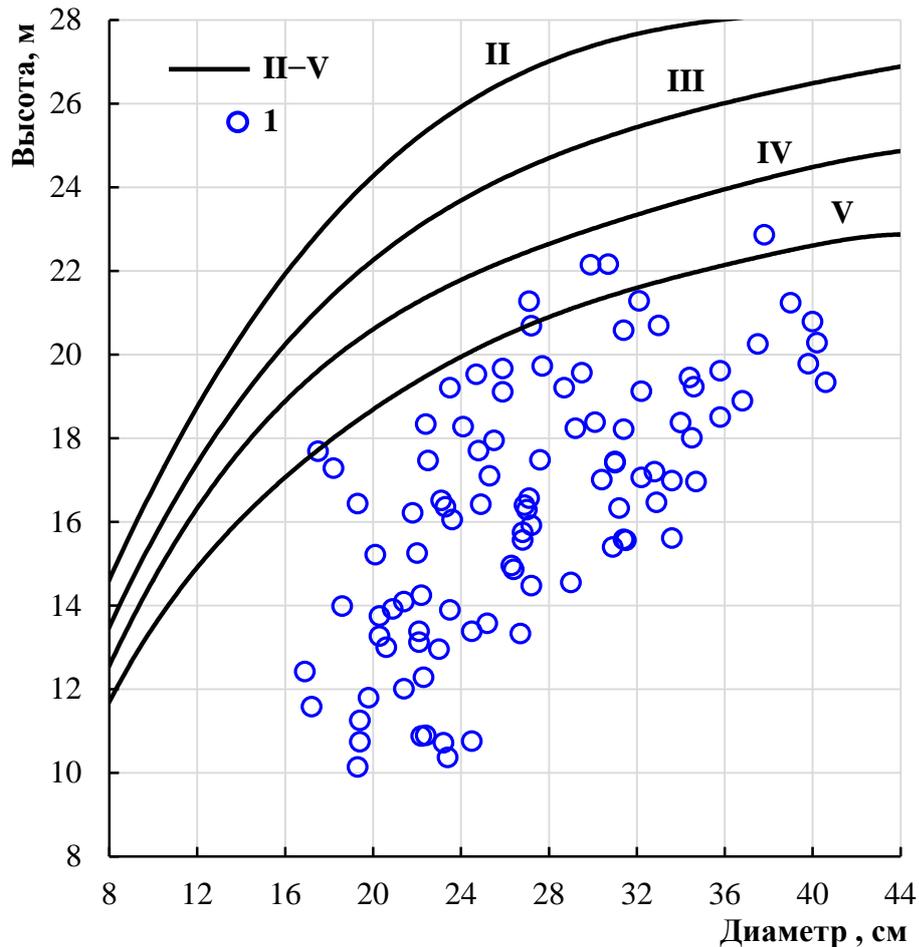


Рисунок 5.2 – Соотношение между диаметрами и высотами деревьев березы: 1 – в озеленительных посадках; II–V – по соответствующим разрядам высот

Известно, что из различных методов составления таблиц наиболее обоснованным с методических позиций является метод, который учитывает в качестве одного из определяющих объем факторов коэффициент формы стволов  $q_2$ . В специальной литературе отмечается, что объем стволов является функцией трех показателей: диаметра, высоты и формы стволов.

Как отмечает В.К. Захаров (1967), точность таблиц объемов по коэффициентам формы соответствует точности вычислений объемов срубленных деревьев по сложным формулам. Таблицы объемов по разрядам высот, как правило, используются при таксации объемов (запасов) больших совокупностей деревьев. Применение их для оценки объемов отдельных деревьев или небольшого их количества может сопровождаться значительными ошибками. В городских условиях при ведении работ по озеленению и благоустройству территорий в основном приходит-

ся оценивать небольшие по объему выборки деревьев. В связи с этим, при разработке таблиц объемов для озеленительных посадок березы нами предпочтение отдано методу составления таблиц по коэффициентам формы.

Экспериментальным материалом для составления таблиц объемов послужили 100 учетных деревьев, у которых при помощи ПИК определены сбеги и высота стволов, а также их коэффициент формы  $q_2$  и объем по вышеизложенной методике. Выявлено, что значения  $q_2$  на исследуемых объектах изменяются в диапазоне от 0,352 до 0,730. Из специальной литературы известно, что в применяемых при таксации естественных насаждений объемных таблицах, изменение  $q_2$  на 0,01 вызывает изменение объема на 1,5–2,0%. Поэтому, принимая во внимание диапазон изменения показателя  $q_2$ , для повышения точности таблиц целесообразно составлять их для высшего (малосбежистых стволов), среднего (среднесбежистых стволов) и низшего (сбежистых стволов) коэффициентов формы. Наш экспериментальный материал позволил к малосбежистым отнести стволы со значениями  $q_2$  от 0,61 до 0,73, к среднесбежистым – стволы с значениями  $q_2$  от 0,51 до 0,60 и к сбежистым – стволы с значениями  $q_2$  от 0,35 до 0,50. В соответствии с этой принятой нами шкалой, учетные деревья по сбежистости распределились следующим образом: среднесбежистых стволов – 63%, малосбежистых – 14% и сбежистых – 23% (табл. 5.7).

Разработке таблиц объемов стволов предшествовало исследование связей объема ствола от основных объемообразующих показателей: диаметра, высоты и коэффициента формы  $q_2$ . Зависимость объемов стволов от их диаметров приведена на графике, который построен по материалам всех учетных деревьев (рис. 5.3а).

Таблица 5.7 – Формы стволов деревьев березы повислой в городских озеленительных посадках по величине коэффициента формы  $q_2$

Категория сбежистости	Границы $q_2$	Среднее значение $q_2$	Число деревьев, шт.
Сбежистые	0,35–0,50	0,439	23
Среднесбежистые	0,51–0,60	0,550	63
Малосбежистые	0,61–0,73	0,668	14

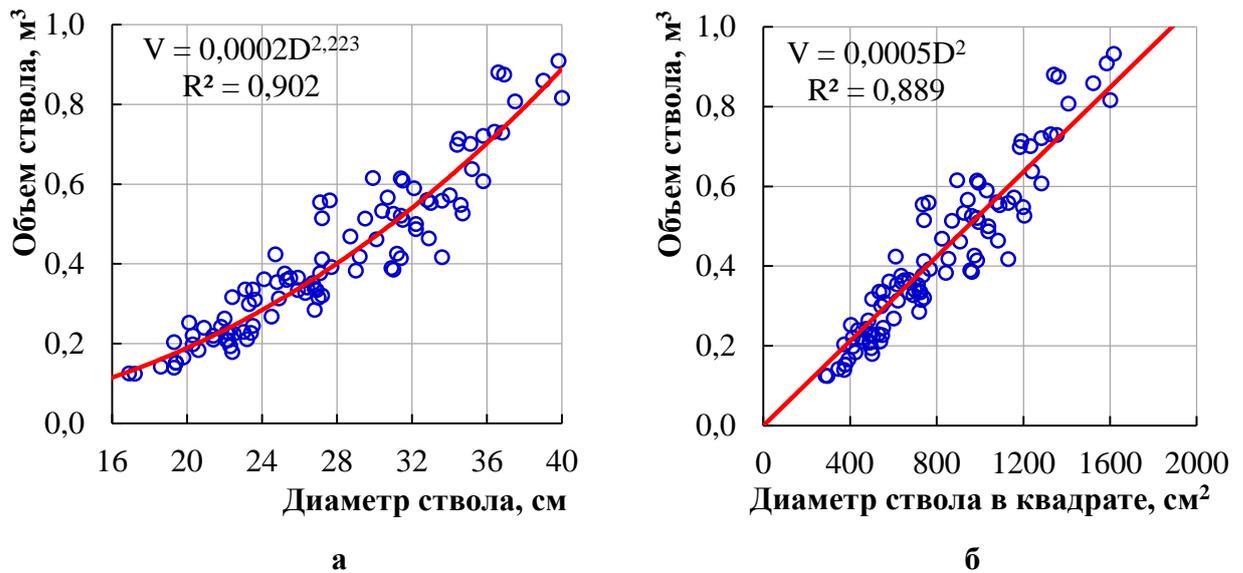


Рисунок 5.3 – Зависимости объема стволов деревьев от их диаметра (а) и диаметра в квадрате (б) в городских посадках березы повислой

Как видно из графика на рис. 5.3а, исследуемая зависимость очень тесная (коэффициент детерминации  $R^2 = 0,902$ ) и имеет криволинейный характер.

Нами также исследована зависимость объемов стволов от их диаметров, возведенных в квадрат (рис. 5.3б). Зависимость между данными показателями прямолинейна, а по тесноте такая же, как предыдущая ( $R^2 = 0,889$ ).

Прямолинейность зависимости, изображенной на рис. 5.3а, объясняется пропорциональностью объемов тел вращения квадрату диаметра. Приведенные материалы свидетельствуют, что в уравнениях множественной регрессии, описывающих зависимость объема деревьев от нескольких таксационных показателей, в качестве одного из определяющих факторов целесообразно использовать не диаметр стволов, а квадрат диаметра. Это связано с тем, что уравнения множественной регрессии разрабатываются для прямолинейных зависимостей.

Помимо диаметра, важными показателями определяющими объем стволов, являются их высота и форма. На рис. 5.4 показана зависимость объема стволов от двух последних показателей. Графические данные свидетельствуют, что при одинаковых значениях высоты объем стволов заметно увеличивается при возрастании  $q_2$ , а при фиксированных значениях  $q_2$  – при повышении высоты. Такие изменения объема стволов вполне логичны и объяснимы. Представленные на рис. 5.3–

5.4 графические материалы подтверждают необходимость и целесообразность составления объемных таблиц для озеленительных посадок березы с тремя определяющими факторами (входами): высотой, диаметром и коэффициентом формы  $q_2$ .

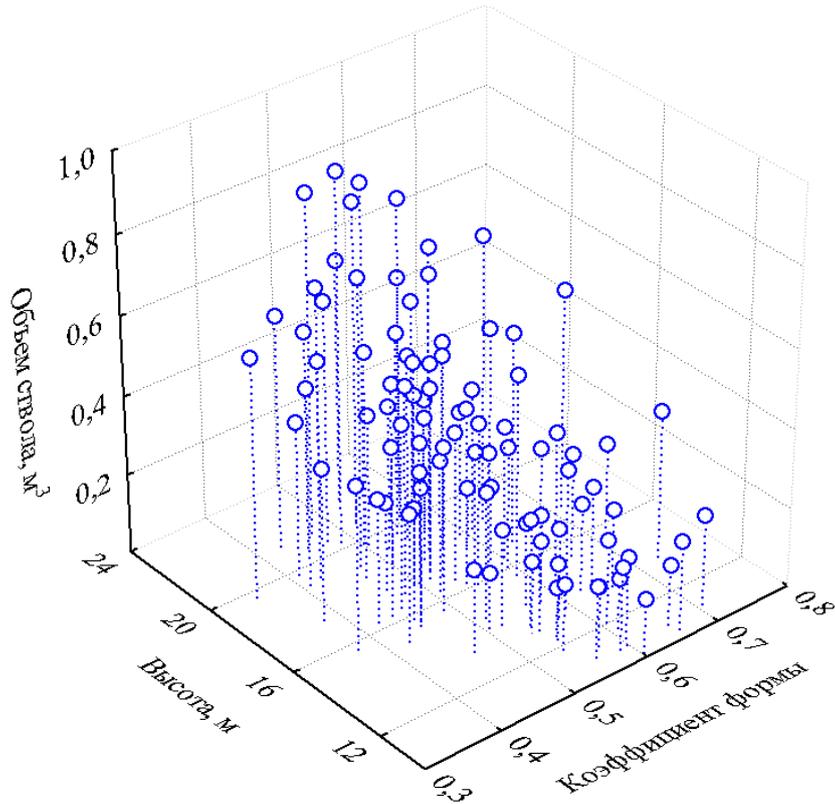


Рисунок 5.4 – Зависимость объемов стволов деревьев березы по вислой от их высоты и формы в городских озеленительных посадках

В настоящее время существующие компьютерные технологии и специальные программы математико-статистической обработки экспериментальных материалов позволяют проводить корректный и объективный анализ природных связей между различными таксационными показателями деревьев и обосновать их аналитическое выражение. Это существенным образом меняет технологию разработки лесохозяйственных нормативов, в том числе объемных таблиц. Классические методы, предполагающие систематизацию экспериментальных данных по градациям таксационных показателей и определение в пределах их средних объемов деревьев, могут быть успешно заменены множественным регрессионным анализом.

На этапе составления таблиц нами с учетом характера зависимости объема

стволов березы от их диаметра на высоте груди, высоты и коэффициента формы  $q_2$ , как базовая модель выбрано следующее уравнение множественной регрессии:

$$V = f(D, H, D^2H, q_2). \quad (5.1)$$

Для учета возможных совместных эффектов переменных, объясняющих, как правило, нелинейную часть их воздействия, включена комбинация переменных  $D^2H$ .

С использованием пакета программ Statistica 10 разрабатывались уравнения с разными наборами переменных. Лучшее уравнение выбиралось с учетом значений коэффициента детерминации и t-критериев Стьюдента. Ориентировались также на возможность корректного отражения характера влияния включенных определяющих факторов на объем стволов. С учетом этих требований выбрано следующее уравнение:

$$V = 2,5 \cdot 10^{-5} D^2 H + 0,130 q_2, \quad R^2 = 0,953. \quad (5.2)$$

Следует отметить, что область применения уравнения (5.2) ограничивают диапазоны изменения значений использованных определяющих факторов (диаметра на высоте груди, высоты и коэффициента формы). Значения t-статистики для переменной  $D^2H$  составляет 51,95, для  $q_2$  – 9,10, т.е. коэффициенты их в уравнении (5.2) в высшей степени достоверны. Совокупность включенных в уравнение факторов объясняет более 95% варьирования объема стволов. Таким образом, статистические показатели уравнения (5.2) позволяют констатировать его адекватность и корректность экспериментальным материалам.

С использованием уравнения (5.2) разработаны три таблицы объемов стволов березы в озеленительных посадках г. Екатеринбурга. Каждая из них предназначена для определения объема разных по форме стволов: сбежистых – при среднем значении  $q_2$  равном 0,40 (табл. 5.8), среднесбежистых – при  $q_2$  равном 0,55 (табл. 5.9) и малосбежистых – при  $q_2$  равном 0,70 (табл. 5.10).

Таблица 5.8 – Объемы сбежистых стволов деревьев березы повислой в озеленительных посадках г. Екатеринбурга

Диаметр, см	Объемы стволов деревьев, м <sup>3</sup> , при высоте, м																
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8	0,0646	0,0662	0,0678	0,0694	0,0710	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
10	0,0718	0,0743	0,0768	0,0793	0,0817	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
12	0,0806	0,0841	0,0877	0,0913	0,0949	0,0985	0,1021	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
14	0,0909	0,0958	0,1007	0,1056	0,1105	0,1154	0,1202	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
16	0,1029	0,1093	0,1157	0,1220	0,1284	0,1348	0,1412	0,1476	0,1539	–	–	–	–	–	–	–	–
18	0,1165	0,1245	0,1326	0,1407	0,1488	0,1568	0,1649	0,1730	0,1811	–	–	–	–	–	–	–	–
20	0,1316	0,1416	0,1516	0,1615	0,1715	0,1815	0,1914	0,2014	0,2114	0,2214	0,2313	0,2413	0,2513	–	–	–	–
22	0,1484	0,1604	0,1725	0,1846	0,1966	0,2087	0,2208	0,2328	0,2449	0,2570	0,2690	0,2811	0,2932	–	–	–	–
24	0,1667	0,1811	0,1954	0,2098	0,2242	0,2385	0,2529	0,2672	0,2816	0,2960	0,3103	0,3247	0,3390	0,3534	0,3678	–	–
26	–	0,2035	0,2204	0,2372	0,2541	0,2709	0,2878	0,3046	0,3215	0,3383	0,3552	0,3720	0,3889	0,4057	0,4226	–	–
28	–	0,2277	0,2473	0,2668	0,2864	0,3059	0,3255	0,3450	0,3646	0,3841	0,4037	0,4232	0,4427	0,4623	0,4818	0,5014	0,5209
30	–	–	–	0,2986	0,3211	0,3435	0,3660	0,3884	0,4108	0,4333	0,4557	0,4781	0,5006	0,5230	0,5455	0,5679	0,5903
32	–	–	–	0,3326	0,3582	0,3837	0,4092	0,4348	0,4603	0,4858	0,5114	0,5369	0,5624	0,5879	0,6135	0,6390	0,6645
34	–	–	–	–	–	–	0,4553	0,4841	0,5129	0,5418	0,5706	0,5994	0,6282	0,6570	0,6859	0,7147	0,7435
36	–	–	–	–	–	–	0,5042	0,5365	0,5688	0,6011	0,6334	0,6657	0,6980	0,7303	0,7626	0,7950	0,8273
38	–	–	–	–	–	–	–	0,5918	0,6278	0,6638	0,6998	0,7358	0,7718	0,8078	0,8438	0,8798	0,9158
40	–	–	–	–	–	–	–	0,6502	0,6901	0,7299	0,7698	0,8097	0,8496	0,8895	0,9294	0,9693	1,0092
42	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,7994	0,8434	0,8874	0,9314	0,9754	1,0193	1,0633	1,1073
44	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,8723	0,9206	0,9689	1,0171	1,0654	1,1137	1,1619	1,2102
46	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,0541	1,1069	1,1596	1,2124	1,2651	1,3179
48	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,1432	1,2006	1,2581	1,3155	1,3729	1,4304
50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,2360	1,2984	1,3607	1,4230	1,4853	1,5477
52	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,3327	1,4001	1,4675	1,5349	1,6023	1,6697

Таблица 5.9 – Объемы среднесбежистых стволов деревьев березы повислой в озеленительных посадках г. Екатеринбурга

Диаметр, см	Объемы стволов деревьев, м <sup>3</sup> , при высоте, м																
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8	0,0840	0,0856	0,0872	0,0888	0,0904	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
10	0,0912	0,0937	0,0962	0,0987	0,1012	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
12	0,1000	0,1036	0,1072	0,1108	0,1143	0,1179	0,1215	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
14	0,1104	0,1152	0,1201	0,1250	0,1299	0,1348	0,1397	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
16	0,1223	0,1287	0,1351	0,1415	0,1479	0,1542	0,1606	0,1670	0,1734	–	–	–	–	–	–	–	–
18	0,1359	0,1440	0,1520	0,1601	0,1682	0,1763	0,1844	0,1924	0,2005	–	–	–	–	–	–	–	–
20	0,1510	0,1610	0,1710	0,1810	0,1909	0,2009	0,2109	0,2208	0,2308	0,2408	0,2508	0,2607	0,2707	–	–	–	–
22	0,1678	0,1799	0,1919	0,2040	0,2161	0,2281	0,2402	0,2523	0,2643	0,2764	0,2885	0,3005	0,3126	–	–	–	–
24	0,1861	0,2005	0,2149	0,2292	0,2436	0,2579	0,2723	0,2867	0,3010	0,3154	0,3297	0,3441	0,3585	0,3728	0,3872	–	–
26	–	0,2229	0,2398	0,2567	0,2735	0,2904	0,3072	0,3241	0,3409	0,3578	0,3746	0,3915	0,4083	0,4252	0,4420	–	–
28	–	0,2472	0,2667	0,2863	0,3058	0,3254	0,3449	0,3644	0,3840	0,4035	0,4231	0,4426	0,4622	0,4817	0,5013	0,5208	0,5404
30	–	–	–	0,3181	0,3405	0,3630	0,3854	0,4078	0,4303	0,4527	0,4751	0,4976	0,5200	0,5425	0,5649	0,5873	0,6098
32	–	–	–	0,3521	0,3776	0,4031	0,4287	0,4542	0,4797	0,5053	0,5308	0,5563	0,5818	0,6074	0,6329	0,6584	0,6840
34	–	–	–	–	–	–	0,4747	0,5036	0,5324	0,5612	0,5900	0,6188	0,6477	0,6765	0,7053	0,7341	0,7629
36	–	–	–	–	–	–	0,5236	0,5559	0,5882	0,6205	0,6528	0,6852	0,7175	0,7498	0,7821	0,8144	0,8467
38	–	–	–	–	–	–	–	0,6113	0,6473	0,6833	0,7193	0,7553	0,7913	0,8273	0,8633	0,8993	0,9353
40	–	–	–	–	–	–	–	0,6696	0,7095	0,7494	0,7893	0,8292	0,8690	0,9089	0,9488	0,9887	1,0286
42	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,8189	0,8629	0,9068	0,9508	0,9948	1,0388	1,0827	1,1267
44	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,8918	0,9400	0,9883	1,0366	1,0848	1,1331	1,1814	1,2296
46	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,0736	1,1263	1,1791	1,2318	1,2846	1,3373
48	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,1626	1,2201	1,2775	1,3349	1,3924	1,4498
50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,2555	1,3178	1,3801	1,4424	1,5048	1,5671
52	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,3521	1,4195	1,4869	1,5543	1,6217	1,6892

Таблица 5.10 – Объемы малосбежистых стволов деревьев березы повислой в озеленительных посадках г. Екатеринбурга

Диаметр, см	Объемы стволов деревьев, м <sup>3</sup> , при высоте, м																
	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
8	0,1035	0,1051	0,1067	0,1083	0,1098	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
10	0,1106	0,1131	0,1156	0,1181	0,1206	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
12	0,1194	0,1230	0,1266	0,1302	0,1338	0,1374	0,1410	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
14	0,1298	0,1347	0,1396	0,1445	0,1493	0,1542	0,1591	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
16	0,1418	0,1481	0,1545	0,1609	0,1673	0,1737	0,1801	0,1864	0,1928	–	–	–	–	–	–	–	–
18	0,1553	0,1634	0,1715	0,1796	0,1876	0,1957	0,2038	0,2119	0,2199	–	–	–	–	–	–	–	–
20	0,1705	0,1805	0,1904	0,2004	0,2104	0,2203	0,2303	0,2403	0,2503	0,2602	0,2702	0,2802	0,2901	–	–	–	–
22	0,1872	0,1993	0,2114	0,2234	0,2355	0,2476	0,2596	0,2717	0,2838	0,2958	0,3079	0,3200	0,3320	–	–	–	–
24	0,2056	0,2199	0,2343	0,2487	0,2630	0,2774	0,2917	0,3061	0,3205	0,3348	0,3492	0,3635	0,3779	0,3923	0,4066	–	–
26	–	0,2424	0,2592	0,2761	0,2929	0,3098	0,3266	0,3435	0,3604	0,3772	0,3941	0,4109	0,4278	0,4446	0,4615	–	–
28	–	0,2666	0,2862	0,3057	0,3252	0,3448	0,3643	0,3839	0,4034	0,4230	0,4425	0,4621	0,4816	0,5012	0,5207	0,5403	0,5598
30	–	–	–	0,3375	0,3600	0,3824	0,4048	0,4273	0,4497	0,4721	0,4946	0,5170	0,5395	0,5619	0,5843	0,6068	0,6292
32	–	–	–	0,3715	0,3970	0,4226	0,4481	0,4736	0,4992	0,5247	0,5502	0,5758	0,6013	0,6268	0,6523	0,6779	0,7034
34	–	–	–	–	–	–	0,4942	0,5230	0,5518	0,5806	0,6095	0,6383	0,6671	0,6959	0,7247	0,7536	0,7824
36	–	–	–	–	–	–	0,5430	0,5754	0,6077	0,6400	0,6723	0,7046	0,7369	0,7692	0,8015	0,8338	0,8661
38	–	–	–	–	–	–	–	0,6307	0,6667	0,7027	0,7387	0,7747	0,8107	0,8467	0,8827	0,9187	0,9547
40	–	–	–	–	–	–	–	0,6890	0,7289	0,7688	0,8087	0,8486	0,8885	0,9284	0,9683	1,0081	1,0480
42	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,8383	0,8823	0,9263	0,9703	1,0142	1,0582	1,1022	1,1462
44	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,9112	0,9595	1,0077	1,0560	1,1043	1,1525	1,2008	1,2491
46	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,0930	1,1458	1,1985	1,2513	1,3040	1,3568
48	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,1821	1,2395	1,2969	1,3544	1,4118	1,4693
50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,2749	1,3372	1,3996	1,4619	1,5242	1,5865
52	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,3715	1,4389	1,5064	1,5738	1,6412	1,7086

### 5.3. Оценка точности таблиц объемов стволов

Новые лесотаксационные нормативы до внедрения их в производство должны пройти проверку на точность (верификацию). Проверка точности норматива может быть корректной только при использовании соответствующих данных, которые не использовались при составлении данного норматива.

В этой связи для оценки точности разработанных таблиц объемов нами в озеленительных посадках березы были отобраны 15 учетных деревьев. У каждого учетного дерева с использованием ПИК определялись высота и диаметры ствола на разных высотных отметках по вышеизложенной методике. По полученным таким образом данным определялись коэффициент формы  $q_2$  и объем ствола. Затем определялись объемы стволов по разработанной нами таблице и таблице Л.А. Лысова (1991) для естественных сомкнутых березняков Среднего Урала. Полученные результаты представлены в табл. 5.11.

Таблица 5.11 – Таксационные показатели учетных деревьев березы повислой

Номер участка	Номер дерева	Диаметр, см	Высота, м	Коэффициент формы	Объем ствола, м <sup>3</sup> , определенный		
					с помощью ПИК	по таблицам авторов	по таблицам Л.А. Лысова
1	1	45,2	22,95	0,56	1,1549	1,2324	1,6342
1	2	35,4	18,90	0,35	0,5954	0,6321	0,9263
1	3	39,3	19,17	0,35	0,7394	0,7723	1,1671
1	4	36,5	21,55	0,50	0,8254	0,8221	1,0471
1	5	31,0	18,73	0,62	0,5870	0,5459	0,7129
2	6	12,1	7,09	0,51	0,0795	0,0964	0,0603
2	7	14,8	7,97	0,51	0,0913	0,1161	0,1052
3	8	38,2	23,13	0,45	0,9873	0,8798	1,1412
3	9	35,2	20,21	0,56	0,7539	0,6821	0,9263
4	10	26,4	14,87	0,64	0,3311	0,3435	0,3984
4	11	29,0	14,56	0,61	0,3436	0,3858	0,5073
5	12	22,4	10,90	0,56	0,1798	0,2040	0,2471
5	13	19,4	10,75	0,65	0,1532	0,1897	0,1781
5	14	23,5	13,90	0,52	0,2453	0,2723	0,2940
6	15	30,4	17,02	0,63	0,5125	0,4721	0,5436

Анализ материалов, представленных в табл. 5.11 показывает, что случайной выборкой охвачен весьма широкий диапазон изменения диаметров (от 12,1 до 45,2 см) и высот (от 7,09 до 23,13 м) деревьев. Собранный экспериментальный ма-

териал, безусловно, позволяет произвести корректную оценку точности разработанных нами нормативов.

Сравнение значений коэффициентов формы  $q_2$  учетных деревьев с данными соответствующей шкалы Ф.И. Семенюты (1968) показал, что 10 из 15 случайно отобранных деревьев относятся к сбежистым, а остальные – к среднесбежистым. Малосбежистые деревья в выборке отсутствуют. Это объясняется тем, что их представленность в озеленительных посадках чрезвычайно мала. В целом, в озеленительных посадках города стволы деревьев березы отличаются значительно большим сбегом, чем в естественных насаждениях. Большая сбежистость стволов – характерная черта деревьев, произрастающих при не высокой густоте размещения на различных объектах системы озеленения. Все вышеизложенное подтверждает правильность составления специальных для городских посадок таблиц объемов стволов.

На рис. 5.5 представлены кривые объемов (зависимости объемов стволов от их диаметров), построенные по данным 15 учетных деревьев и таблицам объемов (разработанных нами и Л.А. Лысовым).

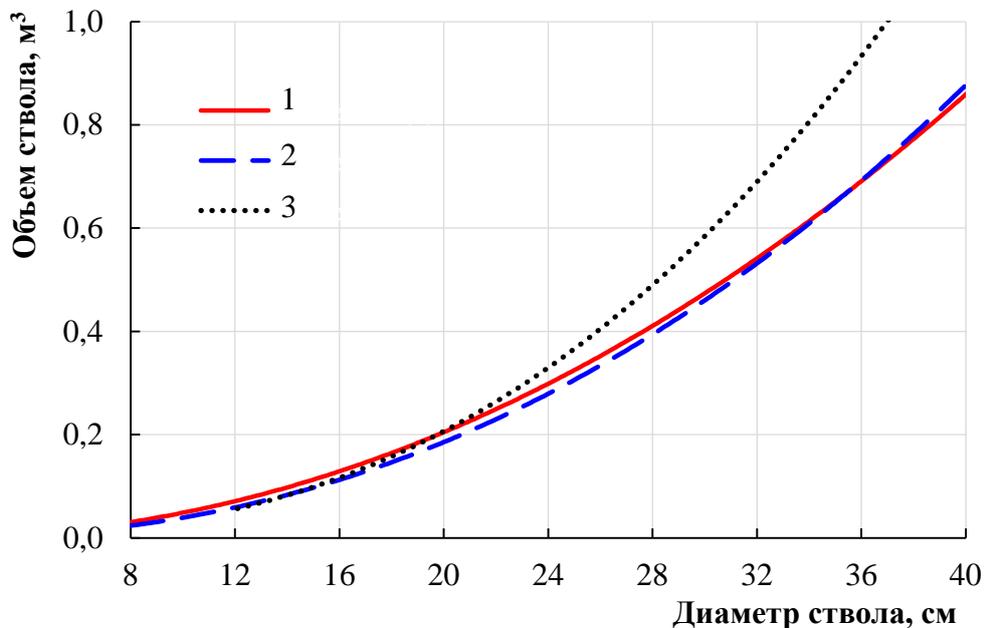


Рисунок 5.5 – Кривые объемов учетных деревьев березы повислой, построенные по данным разработанных таблиц объемов (1), ПИК (2) и таблиц Л.А. Лысова (3)

В качестве аппроксимирующего уравнения при построении кривых объема использована степенная функция, как обеспечивающая наилучшие результаты:

$$V = aD^b. \quad (5.3)$$

Статистические показатели уравнений зависимости объемов стволов от их диаметров, разработанные с использованием данных ПИК и таблиц объемов представлены в табл. 5.12.

Таблица 5.12 – Статистические показатели уравнений зависимости объема стволов от их диаметров

Уравнения	Коэффициент детерминации	Коэффициенты уравнения (5.3)	
		a	b
По данным ПИК	0,978	$4 \cdot 10^{-3}$	2,07
По таблицам авторов	0,963	$2 \cdot 10^{-3}$	2,24
По таблицам Л.А. Лысова	0,994	$1 \cdot 10^{-4}$	2,57

Материалы, представленные в табл. 5.12, свидетельствуют об адекватности уравнений данным, использованным для их получения.

Анализируя графические и аналитические данные можно сделать заключение, что кривые объемов, построенные по данным ПИК и наших таблиц практически совпадают и резко отличаются от кривой объемов по таблицам Л.А. Лысова.

Далее нами была проведена оценка точности определения объема стволов растущих деревьев на основе разработанных таблиц и таблиц Л.А. Лысова. Для этого проводилось сопоставление объемов стволов, определенных по уравнениям, полученных на основе данных табл. 5.12, с объемами (истинными) учетных деревьев. При этом вычислялись систематические, среднеквадратические и общие для всех измерений ошибки (табл. 5.13).

Таблица 5.13 – Ошибки определения объема стволов деревьев березы повислой по различным таблицам

Таблицы объемов	Ошибки, %		
	систематическая	среднеквадратическая	общая
Л.А. Лысова	+25,4	$\pm 20,8$	$\pm 5,4$
Авторов	+6,3	$\pm 12,1$	$\pm 3,1$

Анализируя данные табл. 5.13 следует отметить, что оцениваемые таблицы при определении объема стволов дают систематическую ошибку со знаком плюс, т.е. завышают величину искомого показателя. Причем величина этой ошибки по таблицам Л.А. Лысова в четыре раза больше, чем по нашим. Разработанные нами таблицы обеспечивают также значительно меньшие величины (почти в два раза) среднеквадратической и общей ошибок. В целом точность наших таблиц находится в пределах принятой в лесохозяйственной практике. Они могут быть рекомендованы для применения на производстве при ведении зеленого хозяйства. Таблицы же объемов, составленные для естественных насаждений, не пригодны для использования в городских условиях.

### **Выводы по главе:**

1. ПИК Field-Map позволяет оперативно и точно определить высоту и сбеж ствола растущих деревьев. На основе этих показателей секционным способом с достаточной точностью определяется объем стволов. Это открывает широкие возможности составления таблиц объемов стволов для объектов озеленения, в которых запрещена рубка модельных деревьев.

2. Соотношения диаметров и высот деревьев березы в городских озеленительных посадках не укладываются в рамки разрядной шкалы естественных березняков и резко отличаются по своему характеру. В то же время применение таблиц объемов, составленных по разрядам высот, при таксации отдельных деревьев или небольшого их количества, что имеет место при ведении работ по озеленению и благоустройству территорий населенных пунктов, может сопровождаться значительными ошибками.

3. Наиболее выдержанными в теоретическом и методическом отношениях и обеспечивающими лучшие результаты при таксации небольших по объему выборок деревьев являются таблицы объемов с тремя входами: диаметром на высоте груди, высотой и коэффициентом формы  $q_2$ . Такие таблицы более перспективны при ведении зеленого хозяйства.

4. Форма стволов, характеризующаяся коэффициентом формы  $q_2$ , у деревьев

березы в озеленительных посадках варьирует в широком диапазоне. Это вызывает необходимость составления таблиц для трех категорий деревьев по форме: сбежистых, среднесбежистых и малосбежистых.

5. Процедура составления таблиц объемов стволов успешно решается на основе разработки многофакторных уравнений. Совокупное использование в уравнениях трех переменных (диаметра на высоте груди, высоты и коэффициента формы), объясняет более 95% изменчивости объемов.

6. Разработанные таблицы, учитывающие специфику роста деревьев в озеленительных посадках города, обеспечивают значительно большую точность, чем таблицы объемов, составленные для естественных древостоев. Точность их находится в пределах принятой в лесотаксационной практике.

7. Результаты настоящих исследований свидетельствуют о необходимости разработки специальной нормативной базы для оценки деревьев и насаждений, произрастающих в условиях города, а составленные таблицы объемов деревьев березы повислой для озеленительных посадок могут успешно применяться в городском зеленом хозяйстве и ландшафтном строительстве при проведении оценочных и производственных работ.

## 6. СОСТОЯНИЕ ОЗЕЛЕНИТЕЛЬНЫХ ПОСАДОК БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ

### 6.1. Морфологические показатели листовых пластинок

Характеристика ассимиляционного аппарата, в т.ч. морфологических показателей листовых пластинок, способна наглядно свидетельствовать о санитарном состоянии деревьев (Серебряков, 1962). В условиях загрязнения окружающей среды происходит заметное изменение его морфологических признаков (Николаевский и др., 1998). Для изучения санитарного состояния деревьев и уровня антропогенной нагрузки проведена математико-статистическая обработка экспериментальных данных по основным параметрам листовых пластинок, которая сопровождалась определением их среднего значения, коэффициента вариации и точности опыта. Результаты расчетов приведены в табл. 6.1.

Таблица 6.1 – Статистические показатели морфологических признаков листовых пластинок березы повислой

Номер участка	Категория санитарного состояния, балл	Масса листовой пластинки, г	Длина			Ширина			Площадь поверхности		
			среднее значение, см	коэффициент вариации, %	точность опыта, %	среднее значение, см	коэффициент вариации, %	точность опыта, %	среднее значение, см <sup>2</sup>	коэффициент вариации, %	точность опыта, %
1	2,0	0,25	5,7±0,05	12,9	0,9	4,5±0,04	13,7	0,9	15,4±0,28	25,7	1,8
2	2,3	0,25	5,6±0,06	13,4	1,1	4,3±0,05	14,2	1,2	14,2±0,30	27,2	2,1
3	2,1	0,26	5,8±0,05	12,4	0,9	4,6±0,05	15,4	1,1	15,7±0,31	27,6	2,0
4	2,4	0,23	5,6±0,04	10,5	0,7	4,3±0,03	9,8	0,7	14,1±0,24	19,3	1,7
5	2,2	0,27	5,9±0,04	10,5	0,7	4,6±0,04	12,7	0,9	16,0±0,25	21,8	1,6
6	1,9	0,30	6,0±0,05	11,6	0,8	4,9±0,05	14,1	1,0	17,9±0,31	23,8	1,7
7	2,0	0,29	5,8±0,04	10,4	0,7	4,8±0,04	10,8	0,8	16,6±0,23	19,4	1,4
8	2,0	0,26	5,7±0,05	11,9	0,9	4,4±0,04	14,5	0,9	14,8±0,26	25,1	1,8
9	2,1	0,27	5,9±0,04	9,1	0,7	4,8±0,03	8,7	0,6	16,8±0,18	15,1	1,1
10	1,9	0,27	5,8±0,05	11,9	0,9	4,8±0,05	13,2	1,0	16,6±0,33	25,0	2,0
12	2,2	0,24	5,8±0,05	13,5	0,9	4,6±0,05	15,3	1,1	15,6±0,29	28,9	1,9
14	1,9	0,25	5,7±0,04	10,5	0,7	4,6±0,03	10,3	0,7	15,8±0,17	14,9	1,1
15	2,0	0,27	5,9±0,04	9,5	0,7	4,7±0,03	8,8	0,6	16,6±0,17	14,7	1,0
16	2,0	0,28	6,0±0,07	14,4	1,2	4,8±0,07	12,7	1,5	17,4±0,32	22,4	1,8
18	2,1	0,24	5,6±0,04	9,9	0,7	4,4±0,04	11,2	0,9	14,4±0,18	16,0	1,3
19	1,8	0,29	5,9±0,04	9,5	0,7	4,7±0,04	11,1	0,9	16,8±0,17	14,1	1,0

Достоверность приведенных в табл. 6.1 данных сомнений не вызывает. Точность опыта на всех объектах очень высокая. Степень изменчивости длины, ширины и площади поверхности листовых пластинок в исследуемых озеленительных посадках оценивалась на основе сопоставления эмпирических значений коэффициента вариации этих показателей с данными шкалы уровней изменчивости количественных признаков растений С.А. Мамаева (1973).

Данные табл. 6.1 показывают, что средняя длина листовых пластинок у отдельно взятых деревьев березы в исследуемых озеленительных посадках г. Екатеринбурга изменяется в крайне узком диапазоне: от 5,6 до 6,0 см (в среднем по всем объектам составляет 5,8 см). Коэффициент вариации этого показателя на отдельно взятых опытных участках колеблется от 9,1 до 14,4%. Причем на 11 участках он не превышает 12%, что свидетельствует о низкой изменчивости длины листовых пластинок на них. На остальных 5 участках коэффициенты вариации указанного показателя несколько выше и колеблются от 12,4 до 14,4%. По шкале С.А. Мамаева (1973) изменчивость признака при таких значениях коэффициента вариации характеризуется как средняя.

Средняя ширина листовых пластинок изменяется в пределах от 4,3 до 4,9 см (в среднем по всем объектам составляет 4,6 см). Значения коэффициента вариации этого показателя на опытных объектах несколько выше, чем длины листовой пластинки и колеблются в диапазоне 8,7–15,4%. По шкале С.А. Мамаева (1973) изменчивость ширины листовой пластинки на 7 участках оценивается как низкая, а на остальных 9 – как средняя.

Диапазон изменения средней площади поверхности листовых пластинок на опытных объектах значительно шире, чем их линейных размеров. Этот показатель изменяется в пределах от 14,1 до 17,9 см<sup>2</sup>, а среднее его значение по всем 16 объектам составляет 15,9 см<sup>2</sup>. Изменчивость данного показателя на отдельных опытных объектах также существенно выше, чем линейных размеров листовой пластинки. Значения коэффициентов вариации изменяются в диапазоне от 14,1 до 28,9%. Причем, на 7 опытных участках изменчивость площади поверхности листовых пластинок по указанной выше шкале оценивается как средняя, а на

остальных 9 – как повышенная.

Средние показатели линейных размеров и площади листовых пластинок по отдельным опытным участкам в большинстве случаев достоверно отличаются (по t-критерию Стьюдента) от средних значений по всей выборке. Это свидетельствует о том, что различия между объектами в условиях произрастания деревьев, зависящие от степени постоянно действующих техногенных нагрузок различного происхождения, определяют различия в размерах листовых пластинок деревьев.

Значительный интерес в настоящих исследованиях представляет изучение зависимостей морфологических показателей листовых пластинок от категории санитарного состояния деревьев. Выявлено, что между баллом санитарного состояния деревьев и длиной листовых пластинок существует заметная отрицательная связь: коэффициент парной линейной корреляции составляет  $-0,58 \pm 0,167$ . Это означает, что при уменьшении балла санитарного состояния дерева, т.е. улучшении его санитарного состояния, увеличивается длина листовых пластинок. Зависимость длины листовых пластинок от категории санитарного состояния деревьев корректно описывается линейным уравнением (рис. 6.1а)

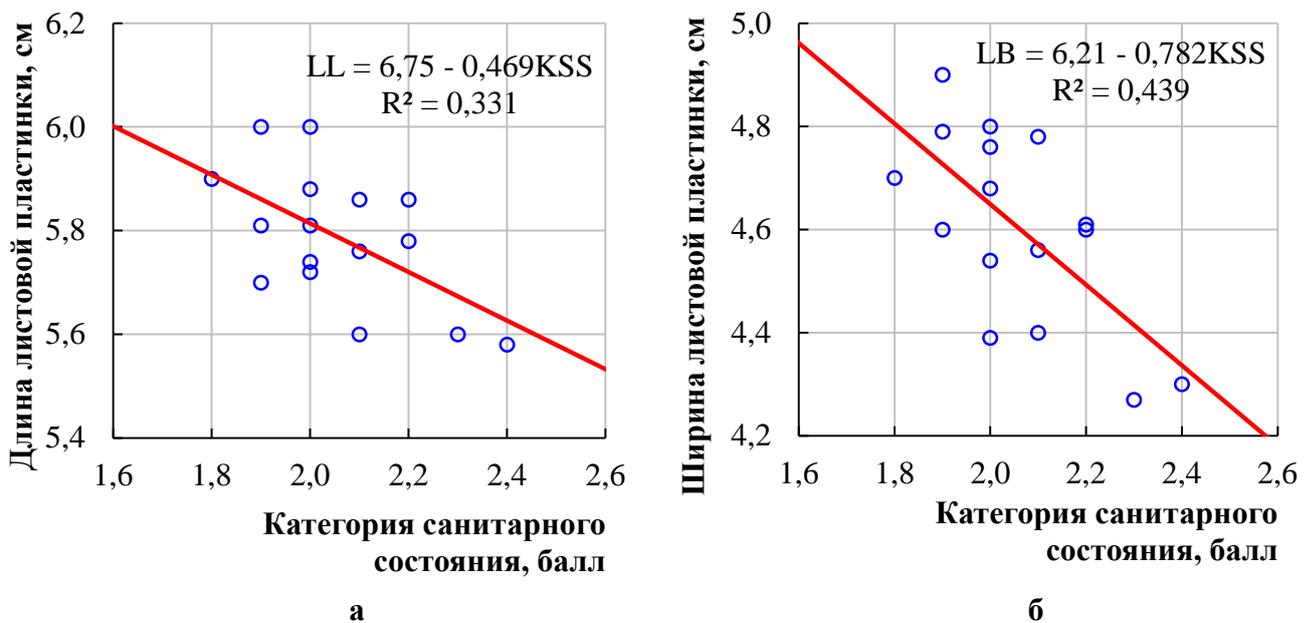


Рисунок 6.1 – Зависимости длины (а) и ширины (б) листовых пластинок деревьев березы повислой от их санитарного состояния

Связь между шириной листовых пластинок и баллом санитарного состояния по направленности такая же, как и рассмотренная выше, но по тесноте заметно выше: коэффициент парной линейной корреляции в этом случае равен  $-0,66 \pm 0,140$ . Зависимость ширины листовых пластинок от балла санитарного состояния деревьев передается прямой линией (рис. 6.1б).

Особенности изменения линейных размеров листьев в зависимости от балла санитарного состояния деревьев обуславливают соответствующие изменения площади поверхности листьев. Логическим итогом увеличения длины и ширины листовых пластинок с уменьшением балла санитарного состояния является закономерное увеличение их площади поверхности по мере улучшения санитарного состояния деревьев. Значение выборочного коэффициента парной линейной корреляции между площадью листовых пластинок и баллом санитарного состояния деревьев составляет  $-0,67 \pm 0,138$ . Зависимость между этими показателями наилучшим образом описывается уравнением прямой линии. Полученные нами результаты не противоречат приводимым в специальной литературе данным (Корона, Васильев, 2007; Хузина, 2010).

Важным и информативным количественным показателем, характеризующим форму листовых пластинок, является отношение их длины к ширине (LL:LB). По нашим данным средние значения данного показателя у деревьев березы повислой на обследованных участках изменяется от 1,21 до 1,31, а среднее значение по всем объектам составляет 1,26. Показатель LL:LB характеризуется низким уровнем изменчивости, коэффициент вариации его на всех опытных участках составляет менее 12%. Коэффициент парной линейной корреляции между средними значениями LL:LB и баллами санитарного состояния деревьев составляет  $0,62 \pm 0,154$ . Это свидетельствует о заметной положительной связи между данными признаками. При ухудшении санитарного состояния деревьев (увеличении баллов санитарного состояния) наблюдается укороченность листовых пластинок.

Одним из методически обоснованных способов определения площади поверхности листовых пластинок является метод линейных размеров. Он заключается в установлении переводного коэффициента  $k$ , который вычисляется как от-

ношение площади листа, определенной планиметрически к площади прямоугольника, стороны которого соответствуют длине и ширине листовой пластинки (Polster, Reichenbach, 1958; Уткин и др., 1997; Залесов и др., 2015). Установлено, что он зависит от экологических условий произрастания растений и может являться их определенной характеристикой (Уткин и др., 2008). Поэтому нами для более объективной оценки влияния уровня техногенных нагрузок на деревья березы на опытных участках был произведен расчет данного показателя. Значения переводного коэффициента  $k$  и соответствующие статистические параметры его распределения на исследуемых объектах представлены в табл. 6.2.

Таблица 6.2 – Средние значения переводного коэффициента  $k$  листьев березы повислой и статистические параметры его распределения на опытных участках

№ п/п	Наименование участка	Переводной коэффициент	Коэффициент вариации, %	Точность опыта, %	Стандартное отклонение	Объем выборки, шт.
1	Куйбышева	0,592±0,002	5,5	0,3	0,03	200
2	Декабристов	0,593±0,002	5,5	0,3	0,03	200
3	Высоцкого	0,599±0,002	5,2	0,3	0,03	200
4	Щорса – Машинная	0,587±0,002	5,8	0,3	0,03	200
5	Фурманова	0,593±0,003	6,7	0,5	0,04	200
6	Щорса – Сурикова	0,609±0,003	6,7	0,5	0,04	200
7	Ясная	0,600±0,002	5,9	0,3	0,04	200
8	Смазчиков	0,591±0,002	5,6	0,3	0,03	200
9	Шаумяна	0,599±0,002	5,4	0,3	0,03	200
10	Сибирский тракт	0,595±0,002	5,2	0,3	0,03	160
12	ЦПКиО	0,588±0,003	6,5	0,5	0,04	200
14	Блюхера – Гагарина	0,603±0,006	12,6	1,0	0,08	200
15	Бардина	0,604±0,003	6,2	0,5	0,04	200
16	Блюхера – Д. Зверева	0,604±0,005	11,2	0,8	0,07	200
18	Никонова	0,584±0,005	10,6	0,9	0,06	160
19	Мехренцева	0,606±0,005	10,3	0,8	0,06	200

Представленные в табл. 6.2 значения переводного коэффициента  $k$  в высшей степени достоверны. Исследования характеризуются высокой точностью. Значения переводного коэффициента  $k$  изменяются в достаточно узком диапазоне: от 0,584 до 0,609. Среднее значение данного показателя по всем исследуемым участкам составляет 0,597. Коэффициент вариации  $k$  по опытным объектам колеблется в диапазоне от 5,2 до 12,6%, а в среднем по всей выборке составляет 7,2%. В по-

давляющем большинстве случаев изменчивость переводного коэффициента  $k$  по шкале С.А. Мамаева (1973) соответствует низкому уровню.

Переводной коэффициент  $k$  в отличие от отношения длины листовых пластинок к их ширине  $LL:LB$ , более корректно передает форму листа, в том числе ее изменение под действием условий окружающей среды. Связь между  $k$  и санитарным состоянием деревьев более тесная, чем рассмотренная выше: значение выборочного коэффициента парной линейной корреляции составляет  $0,67 \pm 0,138$ . На рис. 6.2а наглядно показана зависимость  $k$  от санитарного состояния деревьев.

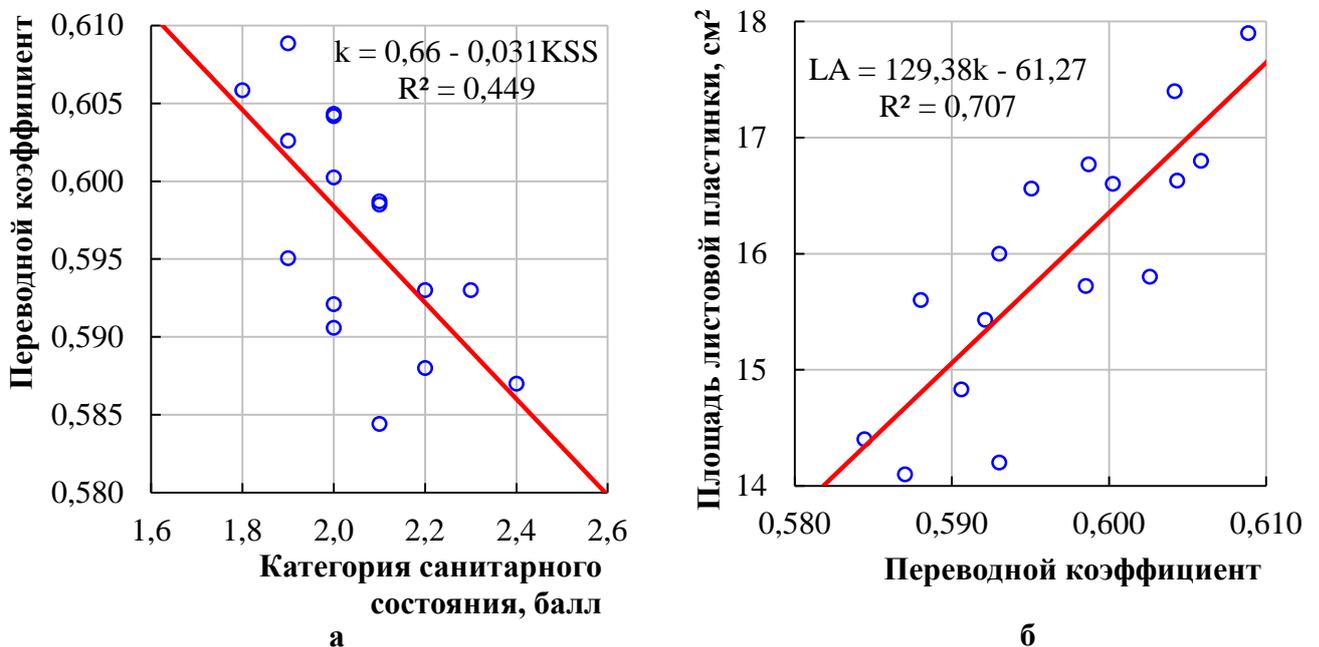


Рисунок 6.2 – Зависимости переводного коэффициента  $k$  от категории санитарного состояния деревьев (а) и площади листовых пластинок от переводного коэффициента  $k$  (б) в озеленительных посадках березы повислой

Выявлено, что с уменьшением балла санитарного состояния деревьев, т.е. улучшением их санитарного состояния, переводной коэффициент  $k$  закономерно увеличивается. Зависимость между этими показателями корректно описывается уравнением прямой. С улучшением санитарного состояния деревьев изменение формы листовых пластинок происходит в направлении увеличения их площади при одинаковых линейных размерах (длине и ширине).

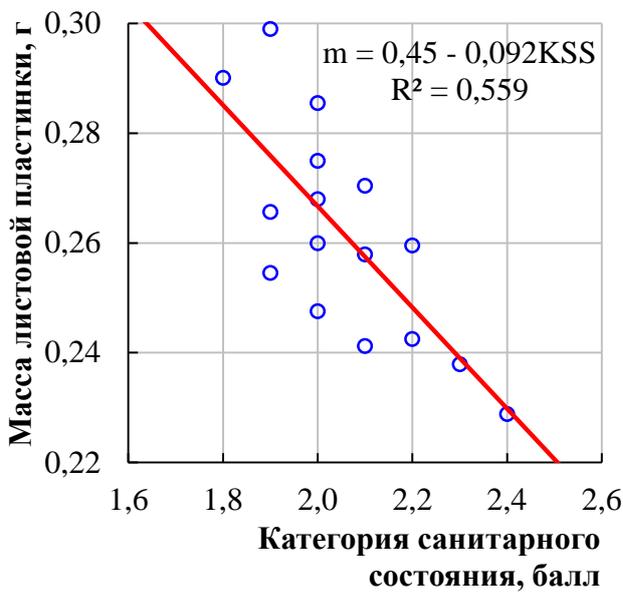
Между переводным коэффициентом  $k$  и площадью поверхности листовых пластинок наблюдается очень тесная связь. Значение коэффициента парной линейной корреляции между этими показателями составляет  $0,84 \pm 0,073$ . Более наглядно зависимость площади листовых пластинок от переводного коэффициента  $k$  показана на рис. 6.2б. Данные, представленные на рис. 6.2б. свидетельствуют о закономерном повышении показателя LA с увеличением  $k$ . Значение коэффициента детерминации свидетельствует, что переводной коэффициент  $k$  объясняет более 70% изменчивости площади поверхности листовых пластинок. Данное обстоятельство открывает возможность определения площади поверхности листовых пластинок на основе переводного коэффициента  $k$ .

Для изучения данного вопроса была сформирована случайная выборка в объеме 200 листовых пластинок, отобранных равномерно из всех опытных участков. Причем распределение их по санитарному состоянию деревьев не производилось, учитывая относительно небольшой разброс баллов санитарного состояния (от 1,8 до 2,4 балла). У всех листовых пластинок была определена площадь поверхности двумя способами: сканированием листьев и с использованием переводного коэффициента  $k$ . Первый способ условно принимался за точный. Сопоставление результатов, полученных указанными выше способами, позволяет отметить следующее. Относительные отклонения площадей листовых пластинок, определенных через  $k$  от «истинных», полученных сканированием, варьируют в диапазоне 0,01–18,40%. Систематическая ошибка при определении площадей листовых пластинок с использованием переводного коэффициента  $k$  составляет +0,74%, а среднеквадратическая –  $\pm 6,64\%$ .

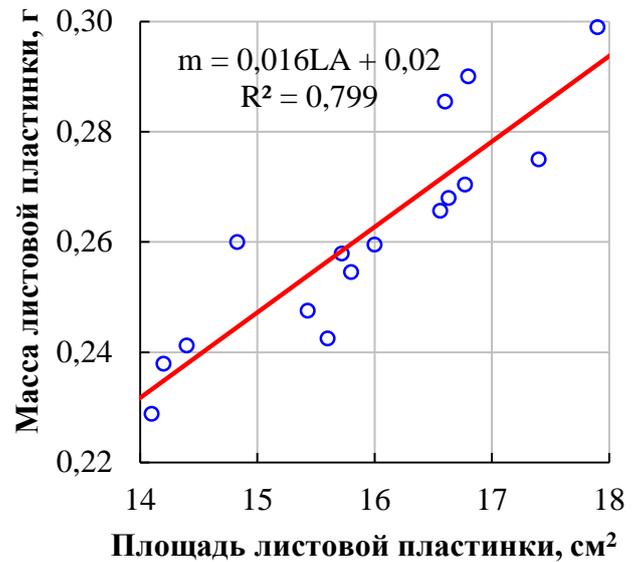
Таким образом, коэффициент  $k$  позволяет достаточно точно определить площадь поверхности листовых пластинок. Причем, как отмечается другими авторами (Аткина и др., 2007; Сафронова, 2013), для достаточно точного определения средней площади листовой пластинки отдельного дерева с помощью переводного коэффициента  $k$ , следует отобрать как минимум 15 листьев.

На заключительном этапе настоящих исследований оценивалась зависимость массы листовых пластинок от их площади поверхности и санитарного состояния

деревьев на основе средних значений указанных показателей на опытных участках. Установлено, что средние значения массы листовых пластинок на исследуемых участках изменяются в диапазоне от 0,23 до 0,30 г зеленой массы, а среднее значение по всем участкам составляет 0,26 г. Между этим показателем и баллом санитарного состояния деревьев существует обратная тесная связь: коэффициент парной линейной корреляции составляет  $-0,75 \pm 0,110$ . Наглядно зависимость массы листовых пластинок от санитарного состояния деревьев показана на рис. 6.3а.



а



б

Рисунок 6.3 – Зависимости массы листовых пластинок березы повислой от категории санитарного состояния деревьев (а) и площади листовых пластинок (б)

Данные, представленные на рис. 6.3а. свидетельствуют о закономерном уменьшении массы листьев с ухудшением санитарного состояния деревьев. Зависимость массы листовых пластинок от баллов санитарного состояния деревьев корректно описывается линейным уравнением.

Очень тесная связь наблюдается между массой и площадью поверхности листовых пластинок. Коэффициент корреляции между этими показателями составляет  $0,89 \pm 0,050$ . Зависимость массы листьев от их площади поверхности корректно передается уравнением прямой (рис. 6.3б). Значение коэффициента детерми-

нации разработанного уравнения свидетельствует, что площадь поверхности листовых пластинок объясняет почти 80% изменчивости их массы.

Таким образом, линейные размеры (длина и ширина) и форма листовых пластинок деревьев березы повислой в озеленительных посадках г. Екатеринбурга характеризуются сравнительно небольшой изменчивостью. В то же время наблюдается достаточно четко выраженная зависимость данных показателей от санитарного состояния деревьев.

## **6.2. Оценка состояния озеленительных посадок с использованием показателя флуктуирующей асимметрии листовых пластинок**

В крупных населенных пунктах на рост и развитие растений оказывают непрерывное влияние техногенные нагрузки разной степени. Поэтому весьма актуальной задачей является мониторинг как за состоянием окружающей среды, так и за реакцией растительности на изменения условий произрастания. Одним из популярных и перспективных методов при решении подобного рода задач является биоиндикация – определение степени техногенной нагрузки на основе реакции на нее живых организмов. Метод может быть использован при всех видах антропогенных загрязнений, отрицательно влияющих на жизнедеятельность растений (Криволицкий, 1993).

Направления использования морфологических параметров листовой пластинки в целях мониторинга состояния окружающей среды весьма разнообразны (Криволицкий, 1993; Кузнецов, 1998; Башаркевич, Самаев, 1999; Захаров и др., 2000; Дружкина, 2007; Радченко, Шабунов, 2006; Залесов и др., 2007). Большое внимание в данных исследованиях уделяется анализу листового аппарата. Отмечается не только изменение его морфологических параметров, но и флуктуация в зависимости от степени загрязнения окружающей среды (Рунова и др., 2007; Хузина, 2010; Дубровин и др., 2013). Градация санитарного состояния деревьев по морфологии листовой пластинки более объективно отражает состояние среды, нежели только по баллам санитарного состояния (Агафонова, 2011).

Изучение флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой, выражен-

ной интегральным показателем стабильности, показало, что на объектах с различными уровнями техногенных нагрузок на зеленые насаждения, его величина в большинстве случаев достоверно различается. Достоверность различий оценивалась по t-критерию Стьюдента. Результаты исследований флуктуирующей асимметрии листьев березы повислой на опытных участках приведены в табл. 6.3.

Таблица 6.3 – Интегральные показатели состояния озеленительных посадок березы повислой в условиях г. Екатеринбурга

№ п/п	Наименование Участка	Категория санитарного состояния, балл	Показатель стабильности развития	Балл состояния	Качество среды	Коэффициент вариации, %	Точность опыта, %
10	Сибирский тракт	1,9	0,039±0,001	1	Условно нормальное	41,3	3,3
8	Смазчиков	2,0	0,042±0,002	2	Незначительное отклонение от нормы	57,7	4,1
6	Щорса – Сурикова	1,9	0,043±0,002			53,3	3,8
7	Ясная	2,0	0,043±0,002			58,1	4,1
19	Мехренцева	1,8	0,043±0,002			49,8	3,5
15	Бардина	2,0	0,044±0,002			56,0	4,0
9	Шаумяна	2,1	0,045±0,002			57,0	4,0
5	Фурманова	2,2	0,049±0,002	3	Средний уровень отклонения от нормы	52,4	3,7
3	Высоцкого	2,1	0,049±0,002			59,5	4,2
14	Блюхера – Гагарина	1,9	0,049±0,002			56,7	4,0
16	Блюхера – Д. Зверева	2,0	0,050±0,002			54,0	3,8
1	Куйбышева	2,0	0,051±0,002	4	Значительные отклонения от нормы	51,0	3,6
12	ЦПКиО	2,2	0,053±0,002			50,0	3,5
18	Никонова	2,1	0,053±0,002			46,4	3,7
2	Декабристов	2,3	0,056±0,002	5	Критическое состояние	54,4	3,9
4	Щорса – Машинная	2,4	0,058±0,002			60,8	4,3

Данные табл. 6.3 показывают, что средние значения показателя стабильности развития деревьев на исследуемых участках изменяются в диапазоне от 0,039 до 0,058. Они корректно укладываются в рамки шкалы оценки отклонений состояния организма от условной нормы (табл. 3.1). Качество среды на наших объектах различно. Оно согласно указанной выше шкале меняется от условно нормального состояния до критического. Таким образом, опытными участками охвачены все 5 вариантов качества среды, представленных в шкале. Среднее значение показателя стабильности развития деревьев по всем исследуемым объектам составляет 0,048,

т.е. качество среды соответствует среднему уровню отклонения от нормы.

Показатель стабильности развития деревьев характеризуется высокой изменчивостью по С.А. Мамаеву (1973). Рассчитанные коэффициенты вариации данного показателя на опытных участках изменяются в диапазоне от 41,3 до 60,8%. Точность опыта на всех объектах высокая. Ошибки определения рассматриваемого показателя не выходят за пределы 5%. Это свидетельствуют о достаточном объеме измерений, корректности и достоверности полученных результатов.

Анализируя данные, приведенные в табл. 6.3, необходимо отметить следующее. Наименьшим значением показателя стабильности развития обладают деревья на опытном участке №10, расположенном вдали от автодорог и закрытом от них зданиями, характеризующимся одним из лучших баллов санитарного состояния (1,9). Это означает, что деревья здесь произрастают в достаточно благоприятных экологических условиях и практически не испытывают серьезные техногенные нагрузки. Качество среды по данным соответствующей шкалы (табл. 3.1) оценивается как условно нормальное.

Деревья на 5 участках (№№6, 7, 8, 15 и 19) характеризуются 2 баллом состояния, показатель стабильности развития их находится в диапазоне от 0,042 до 0,044. Качество среды на этих участках имеет незначительное отклонение от нормы. В целом санитарное состояние деревьев на этих участках хуже, чем на участке №10. Исключение составляет участок №19, где деревья характеризуются лучшим баллом санитарного состояния, среди всех исследуемых объектов. Это, на наш взгляд, объясняется их малым возрастом (6 лет).

Деревья на 4 участках (№№3, 5, 9 и 14) имеют 3 балл состояния, показатель стабильности развития их находится в диапазоне от 0,045 до 0,049. Качество среды на этих участках характеризуется средним отклонением от нормы. Санитарное состояние деревьев на этих участках хуже, чем на предыдущих 6. Средний балл санитарного состояния деревьев на трех участках из четырех составляет 2,1.

Баллом состояния 4 характеризуются деревья на опытных участках №№1, 12, 16 и 18. Показатель стабильности развития их меняется в пределах от 0,050 до 0,053. Качество среды на данных участках имеет значительные отклонения от

нормы. Средний балл санитарного состояния деревьев составляет 2,0–2,2.

Наибольшие техногенные нагрузки среди всех исследуемых объектов испытывают деревья на опытных участках №2 и №4. Качество среды на них находится в критическом состоянии. Деревья имеют 5 балл состояния, показатель стабильности развития их находится в диапазоне от 0,056 до 0,058. Санитарное состояние деревьев на данных участках хуже, чем на всех остальных (средний балл 2,3–2,4).

Известно, что показатель стабильности развития отражает реакцию растений не только на техногенное загрязнение, но и на другие формы отрицательного воздействия на них. Так, опытный участок №12, являющийся рядовой озеленительной посадкой на территории городского парка, характеризуется значительно отклоняющимся от нормы качеством среды. Это объясняется высокой рекреационной нагрузкой на деревья, а именно интенсивным вытаптыванием и уплотнением почвы. Подобные рекреационные нагрузки испытывают деревья на участке №18. На других опытных участках, характеризующиеся 3 и 4 баллам состояния деревьев, основным негативным фактором ослабления растений выступает высокая интенсивность движения автотранспорта.

Интенсивное движение автотранспорта в совокупности с высокой рекреационной нагрузкой (вытаптывание почвы, образование стихийной тропинойной сети) определяет наиболее высокие значения показателя стабильности развития деревьев и критическое состояние качества среды на участках №№2 и 4.

В целом приведенные выше материалы показывают, что между баллом санитарного состояния и показателем стабильности развития деревьев существует закономерная связь. Значение коэффициента парной линейной корреляции между этими показателями составляет  $0,79 \pm 0,095$ . Оно свидетельствует о высокой тесноте связи. Наглядно зависимость показателя стабильности развития деревьев от их категории санитарного состояния показана на рис. 6.4.

Данные, представленные на рис. 6.4. свидетельствуют о четком закономерном увеличении показателя стабильности развития деревьев с ухудшением (увеличением баллов) санитарного состояния деревьев. Указанная зависимость корректно описывается линейным уравнением. Значение коэффициента детермина-

ции разработанного уравнения свидетельствует, что санитарное состояние деревьев объясняет 62% изменчивости показателя стабильности развития. С улучшением санитарного состояния деревьев нормализуется стабильность развития деревьев березы повислой, т.е. наблюдается приближение к норме билатеральной симметрии листовых пластинок (Залесов и др., 2018).

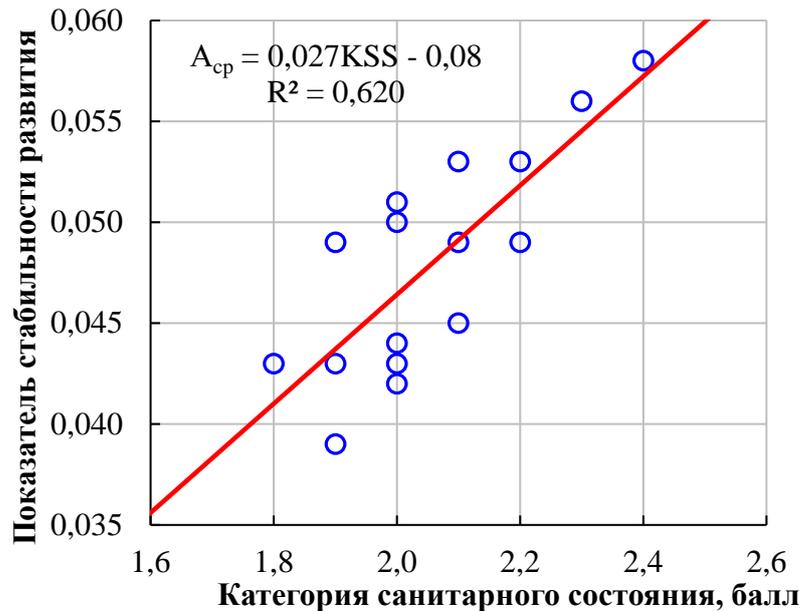


Рисунок 6.4 – Зависимость показателя стабильности развития деревьев от их категории санитарного состояния в озеленительных посадках

При визуальном обследовании деревьев березы повислой, произрастающих на исследуемых опытных участках с наиболее сложными экологическими условиями, на их листьях наблюдаются различные признаки поражения: скручивание, хлорозы, некрозы, преждевременное пожелтение.

#### **Выводы по главе:**

1. Линейные размеры (длина и ширина) и форма листовых пластинок деревьев березы повислой в озеленительных посадках г. Екатеринбурга характеризуются сравнительно небольшой изменчивостью. Коэффициент вариации для всех исследованных участков в среднем составляет: длины листовой пластинки – 11,4%, ширины – 12,3%, площади поверхности – 21,3%, переводного коэффициента  $k$ ,

характеризующего форму листовой пластинки – 7,2%.

2. Наблюдаются достаточно четко выраженные зависимости морфологических показателей и массы листовых пластинок от санитарного состояния деревьев. С улучшением состояния деревьев увеличиваются длина, ширина, масса и переводной коэффициент  $k$  листовых пластинок. Зависимости линейных размеров, массы и показателя формы листьев от балла санитарного состояния деревьев наилучшим образом описываются уравнением прямой. С улучшением санитарного состояния деревьев изменение формы листовых пластинок происходит в направлении, увеличивающим их площадь при одинаковых линейных размерах.

3. Переводной коэффициент  $k$  объясняет более 70% изменчивости площади поверхности листьев. Поэтому на его основе можно достаточно точно определить площадь поверхности листовых пластинок.

4. Средние значения показателя стабильности развития деревьев на исследуемых участках изменяются в диапазоне от 0,039 до 0,058. Этот показатель позволяет объективно оценить качество среды и выделить на территории города зоны с различным уровнем техногенных, рекреационных и других нагрузок.

5. Наблюдается закономерное увеличение показателя стабильности развития деревьев с ухудшением (увеличением баллов) санитарного состояния деревьев. Указанная зависимость корректно описывается линейным уравнением. Значение коэффициента детерминации разработанного уравнения свидетельствует, что санитарное состояние деревьев объясняет 62% изменчивости показателя стабильности развития. С улучшением санитарного состояния деревьев нормализуется стабильность развития деревьев березы повислой, т.е. наблюдается приближение к билатеральной симметрии половинок листовых пластинок.

6. По результатам исследований из 16 озеленительных посадок только 6% свойственно условно нормальное состояние деревьев и окружающей среды. Состояниями деревьев и среды незначительно отличающимися от нормы характеризуются 31% посадок, средним уровнем отклонений – 25% посадок, значительно отклоняющимися от нормы – 25% посадок. Состояние деревьев и среды 13% озеленительных посадок критическое.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В соответствии с современными тенденциями в оценке экологической и социальной роли зеленых насаждений проведены комплексные, многоаспектные исследования городских озеленительных посадок березы повислой.

Теоретическую часть работы составляют исследование закономерностей строения и роста озеленительных посадок березы и выявление различий между ними и естественными сомкнутыми древостоями по различным количественным и качественным признакам. Прикладные аспекты исследований заключаются в реализации выявленных закономерностей при составлении таксационных нормативов.

В целом проведенные исследования позволяют сделать следующие обобщения и выводы.

В озеленительных посадках города дифференциация деревьев березы повислой по размерам стволов и крон выражена в значительно меньшей степени, чем в сомкнутых естественных древостоях. Это является косвенным показателем их меньшей стабильности и устойчивости. По уменьшению степени изменчивости таксационные показатели можно расположить в следующий ряд: высота деревьев (среднее значение коэффициента вариации 7,86%), протяженность крон (11,43%), диаметр крон (12,11%), диаметр стволов (13,21%), объем крон (20,83%) и площадь поверхности крон (20,83%). Изменчивость таксационных показателей деревьев при прочих равных условиях уменьшается с увеличением их возраста, увеличением шага посадки и ухудшением санитарного состояния зеленых насаждений.

Отличительными особенностями рядов распределения деревьев по диаметру и высоте в озеленительных посадках являются более короткий диапазон изменения диаметров и высот (почти в два раза по сравнению с сомкнутыми естественными древостоями), менее выраженная положительная асимметрия (для рядов распределения диаметров коэффициент асимметрии составляет от -0,40 до +0,53, а для рядов распределения высот – от -0,71 до +0,49) и более выраженная плосковершинность (для рядов распределения диаметров коэффициент эксцесса состав-

ляет от -1,56 до -0,35, а для рядов распределения высот – от -1,12 до +0,39).

Взаимосвязи между различными таксационными показателями деревьев в озеленительных посадках в основном носят прямолинейный характер. Прямолинейная пропорциональность свидетельствует об отсутствии значимой конкуренции между растениями.

Городские посадки в отличие от сомкнутых древостоев отличаются существенно низкими значениями относительной высоты. Причем этот показатель закономерно уменьшается с увеличением шага посадки. Анализ значений относительной высоты показывает, что у 97% деревьев они меньше критической величины 100 и степень конкурентных взаимоотношений между деревьями в озеленительных посадках не представляет опасности для их существования. Исследуемые посадки могут успешно функционировать и не требуют проведения срочных хозяйственных мероприятий.

Отличительные особенности строения озеленительных посадок, на наш взгляд, связаны, во-первых, с использованием при создании озеленительных посадок достаточно однородного в генетическом отношении посадочного материала, а во-вторых – значительно меньшей конкуренцией между деревьями вследствие их равномерного и редкого размещения и в третьих – условиями произрастания деревьев в городской среде. В частности, биологический потенциал роста деревьев при ухудшении качества среды (из-за антропогенных нагрузок) реализуются в меньшей степени. Это, безусловно, при прочих равных условиях сдерживает достижение деревьями более крупных размеров и укорачивает диапазон варьирования показателей.

Характер возрастной динамики средних высот озеленительных посадок отличается от изменений высот, представленных в общепониманной шкале М.М. Орлова. С увеличением возраста в озеленительных посадках происходит понижение класса бонитета. Наблюдается тенденция снижения класса бонитета с повышением техногенных нагрузок.

Возрастная динамика среднего диаметра и средней высоты деревьев в озеленительных посадках корректно описывается функцией Корсуня, а зависимость

видовой высоты от средней высоты – уравнением прямой.

Особенностью хода роста деревьев березы по диаметру, высоте и объему в озеленительных посадках является замедление процесса падения с возрастом интенсивности прироста этих показателей по сравнению с аналогичным процессом в естественных сомкнутых насаждениях. Максимальный текущий прирост деревьев по диаметру и высоте наблюдается в 10–20 лет, а по объему в – в 60–70 лет (на 10 лет позже, чем в естественных древостоях).

В озеленительных посадках по сравнению с сомкнутыми естественными древостоями формируются менее полнодревесные стволы, характеризующиеся при одинаковой высоте существенно большими значениями диаметра и объема. Следовательно, в посадках в величине объема стволов меньшая полнодревесность с избытком компенсируется за счет возрастания их диаметра.

В целом, результаты исследований строения и роста озеленительных посадок дают основание считать их специфическим объектом таксации, требующим разработки для них специальной нормативной базы.

ПИК Field-Map позволяет оперативно и точно определить высоту и сбеж ствола растущих деревьев. На основе этих показателей секционным способом с достаточной точностью определяется его объем. Это открывает широкие возможности составления таблиц объема стволов для объектов озеленения, в которых запрещена рубка модельных деревьев.

Соотношения диаметров и высот деревьев березы в городских озеленительных посадках не укладываются в рамки разрядной шкалы естественных березняков и резко отличаются по своему характеру. В то же время применение таблиц объемов, составленных по разрядам высот, при таксации отдельных деревьев или небольшого их количества, что имеет место при ведении работ по озеленению и благоустройству территорий населенных пунктов, может сопровождаться значительными ошибками.

Наиболее выдержанными в теоретическом и методическом отношениях и обеспечивающими лучшие результаты при таксации небольших по объему выборок деревьев являются таблицы объемов с тремя входами: диаметром на высоте

груди, высотой и вторым коэффициентом формы. Такие таблицы более перспективны при ведении зеленого хозяйства.

Форма стволов, характеризующаяся вторым коэффициентом формы  $q_2$ , у деревьев березы в озеленительных посадках варьирует в широком диапазоне. Это вызывает необходимость составления таблиц для трех категорий деревьев по форме: сбежистых, среднесбежистых и малосбежистых.

Процедура составления таблиц объемов стволов успешно решается на основе разработки многофакторных уравнений. Совокупное использование в уравнениях трех переменных (диаметра на высоте груди, высоты и коэффициента формы  $q_2$ ), объясняет более 95% изменчивости объемов. Разработанные таблицы, учитывающие специфику роста деревьев в озеленительных посадках города, обеспечивают значительно большую точность, чем таблицы объемов, составленные для естественных древостоев. Точность их находится в пределах принятой в лесотаксационной практике.

Линейные размеры (длина и ширина) и форма листовых пластинок деревьев березы повислой в озеленительных посадках г. Екатеринбурга характеризуются сравнительно небольшой изменчивостью. Коэффициент варьирования для всех исследованных участков в среднем составляет: длины листовой пластинки – 11,4%, ширины – 12,3%, площади поверхности – 21,3%, переводного коэффициента  $k$ , характеризующего форму листовой пластинки – 7,2%.

Наблюдаются достаточно четко выраженные зависимости морфологических показателей и массы листовых пластинок от санитарного состояния деревьев. С улучшением состояния деревьев увеличиваются длина, ширина, масса и переводной коэффициент  $k$  листовых пластинок. Зависимости линейных размеров, массы и показателя формы листьев от балла санитарного состояния деревьев наилучшим образом описываются уравнением прямой. С улучшением жизненного состояния деревьев изменение формы листовых пластинок происходит в направлении, увеличивающим их площадь при одинаковых линейных размерах (длине и ширине).

Средние значения показателя стабильности развития деревьев (интегрального значения флуктуирующей асимметрии листовых пластинок) на исследуемых

участках изменяются в диапазоне от 0,039 до 0,058. Наблюдается закономерное увеличение этого показателя с ухудшением (увеличением баллов) санитарного состояния деревьев. В целом интегральный показатель флуктуирующей асимметрии листовых пластинок позволяет объективно оценить состояние городских посадок и качество среды, в которой они находятся, и выделить на территории города зоны с различным уровнем техногенных, рекреационных и других нагрузок.

По результатам исследований из 16 озеленительных посадок только 6% свойственно условно нормальное состояние деревьев и окружающей среды. Состояниями деревьев и среды незначительно отличающимися от нормы характеризуются 31% посадок, средним уровнем отклонений – 25% посадок, значительно отклоняющимися от нормы – 25% посадок. Состояние деревьев и среды 13% озеленительных посадок критическое.

В целом, результаты исследований расширяют современные знания о строении и росте городских озеленительных посадок березы и могут служить теоретической и информационной базой зеленого хозяйства города. Полученные количественные и качественные характеристики посадок березы, разработанные нормативы и регрессионные уравнения могут быть использованы при разработке планов озеленения городских территорий, проведении инвентаризации озеленительных посадок и проектировании в них хозяйственных мероприятий.

По результатам исследований для городского зеленого хозяйства подготовлены:

1. Таблицы возрастной динамики таксационных показателей стволов и крон деревьев березы в озеленительных посадках.
2. Трехходовые (диаметр, высота, коэффициент формы) таблицы объемов стволов, составленные для трех категорий деревьев березы по форме ствола (сбежистых, среднесбежистых и малосбежистых).
3. Регрессионные уравнения взаимосвязей таксационных и морфологических показателей.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ**

Авдеева, Е.В. Оптимизация структуры городских зеленых насаждений / Е.В. Авдеева // Химия растительного сырья. – 1998. – №2. – С. 83-86.

Авдеева, Е.В. Зеленые насаждения Сибири / Е.В. Авдеева. – Красноярск: Сиб. гос. техн. ун-т, 2000. – 148 с.

Авдеева, Е.В. Зеленые насаждения в мониторинге окружающей среды крупного промышленного города: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук: 03.06.16 / Авдеева Елена Владимировна. – Красноярск, 2008а. – 30 с.

Авдеева, Е.В. Специфика роста древесных растений в условиях городской среды / Е.В. Авдеева // Вестник Красноярского гос. аграр. ун-та. – 2008б. – №4. – С. 182-186.

Авдеева, Е.В. Исторические аспекты взаимосвязи природного окружения, композиционной структуры и системы озеленения города Красноярска [Электронный ресурс] / Е.В. Авдеева, В.Ф. Полетайкин, Е.А. Вагнер // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №2-2. – URL: <https://science-education.ru/article/view?id=22954> (дата обращения: 01.10.2018).

Агафонова, А.Л. Влияние экологических факторов на рост и развитие липы мелколистной в г. Екатеринбурге: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03 / Агафонова Александра Леонидовна. – Екатеринбург, 2011. – 133 с.

Алексеев, В.А. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / В.А. Алексеев, А.С. Дочинжер // Лесоведение. – 1981. – №5. – С. 64-71.

Алексеев, А.С. Радиальный прирост деревьев и древостоев в условиях атмосферного загрязнения / А.С. Алексеев // Лесоведение. – 1993. – №4. – С. 66-70.

Алексеев, С.В. Практикум по экологии: учеб. пособие / С.В. Алексеев, Н.В. Груздева, А.Г. Муравьев. – М.: АО МДС, 1996. – 192 с.

Амосова, И.Б. Водный режим ассимиляционного аппарата березы повислой (*Betula pendula* Roth.) / И.Б. Амосова, П.А. Феклистов // Вестник Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2010. – №6. – С. 26-29.

Антипов, В.Г. Устойчивость древесных растений к промышленным газам /

В.Г. Антипов. – Минск: Наука и техника, 1979. – 216 с.

Анучин, Н.П. Лесная таксация: учебник для вузов / Н.П. Анучин – 5-е изд. – М.: Лесная промышленность, 1982. – 552 с.

Артемьев, О.С. Методы таксации городских насаждений / О.С. Артемьев // Вестник Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2001. – №2. – С. 75-77.

Артемьев, О.С. Методы таксации городских насаждений: монография / О.С. Артемьев. – Красноярск: Сибирский гос. техн. ун-т, 2003. – 100 с.

Артемьев, О.С. Методические основы таксации городских насаждений с применением материалов дистанционных съемок: автореф. дис. ... докт. с.-х. наук: 06.03.02 / Артемьев Олег Сергеевич. – Красноярск, 2004. – 35 с.

Артемьев, О.С. Шкала оценки санитарно-гигиенических функций деревьев в городских насаждениях / О.С. Артемьев // Вестник современных исследований. – 2018. – №9.3(24). – С. 8-10.

Архипова, Н.П. Природные достопримечательности Екатеринбурга и его окрестностей / Н.П. Архипова. – Изд. 2-е, доп. и испр. – Екатеринбург: Баско, 2007. – 248 с.

Аткина, Л.И. Площадь листьев у распространенных видов древесных листовых растений в уличных посадках г. Екатеринбурга / Л.И. Аткина, М.В. Игнатова, Т.В. Корлыханова, М.С. Корлыханов // Экологические проблемы. Взгляд в будущее: сб. тр. IV науч.-практ. конф. – Ростов-н/Д, 2007. – 422 с.

Аткина, Л.И. Реконструкция насаждений. Часть 1. Городские насаждения / Л.И. Аткина, С.В. Вишнякова, С.Н. Луганская. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2010. – 40 с.

Аткина, Л.И. Особенности распределения листовой поверхности у яблони ягодной, рябины обыкновенной, клена ясенелистного, боярышника кроваво-красного в городских посадках Екатеринбурга / Л.И. Аткина, М.В. Игнатова // Аграрный вестник Урала. – 2012. – №2(94). – С. 30-31.

Аткина, Л.И. Реконструкция насаждений: учеб.-метод. пособие / Л.И. Аткина, С.В. Вишнякова, С.Н. Луганская. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2015. – 41 с.

Аткина, Л.И. Нормирование и размещение озелененных территорий общего пользования г. Екатеринбурга / Л.И. Аткина, Л.В. Булатова // Пермский аграрный вестник. – 2017. – №4(20). – С. 146-152.

Бабурин, А.А. Оценка экологической значимости зеленых насаждений / А.А. Бабурин, Г.Ю. Морозова // Вестник Тихоокеанского гос. ун-та. – 2009. – № 3. – С. 63-70.

Балакир, М.В. Распределение диаметров деревьев в еловых древостоях искусственного происхождения / М.В. Балакир // Труды БГТУ: научный журнал. – 2012. – №1(148). – С. 30-32.

Басыйров, А.М. Экология города: учеб.-метод. рук. – Казань: Казанский фед. ун-т, 2013. – 96 с.

Башаркевич, И.Л. Состояние древесной растительности в Москве и особенности микроэлементного состава / И.Л. Башаркевич, С.Б. Самаев // 4-я Междунар. конф. «Проблемы управления качеством окружающей среды». – М., 1999. – С. 215-217.

Безель, В.С. Экологическая токсикология: популяционный и биоценотический аспекты / В.С. Безель. – Екатеринбург: Гощицкий, 2006. – 280 с.

Белоголова, Г.А. Химический состав березового сока как индикатор техногенного загрязнения / Г.А. Белоголова, Г.В. Матяшенко // Матер. Всерос. конф. – Иркутск: Иркутский гос. техн. ун-т, 2005. – С. 473-475.

Беляева, Л.В. Биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха и состояние древесных растений / Л.В. Беляева, С.В. Николаевский // Научные труды Моск. лесотехн. ин-та. 1989. – Вып. 222. – С 36-47.

Беляева, Ю.В. Распределение показателей количества пыли на листовых пластинках *Betula pendula* Roth., произрастающей в Г.О. Тольятти / Ю.В. Беляева // Известия Самарского науч. центра РАН. – 2015. – №4-5. – С. 989-993.

Блонская, Л.Н. Ландшафтно-экологическая оценка зеленых насаждений территорий ограниченного пользования / Л.Н. Блонская, Н.А. Зотова // Вестник Башкирского гос. аграрн. ун-та. – 2010. – №3. – С. 38-43.

Блонская, Л.Н. Сравнительная характеристика состояния зеленых насажде-

ний в различных условиях техногенной среды г. Уфа / Л.Н. Блонская, Г.И. Шайбакова // Вестник Тамбовского ун-та. Серия: Естественные и технические науки. – 2014. – №5. – С. 1251-1253.

Бобров, Р.В. Благоустройство лесов / Р.В. Бобров. – М.: Лесная промышленность, 1977. – 192 с.

Богачев, А.В. Взаимосвязи различных таксационных показателей: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / А.В. Богачев. – М., 1970. – 17 с.

Боговая, И.О. Озеленение населенных мест: учеб. пособие / И.О. Боговая, В.С. Теодоронский. – 3-е изд., стер. – СПб.: Лань, 2014. – 240 с.

Болтнева, Л.И. Прогноз поражения растительности промышленными выбросами в атмосферу / Л.И. Болтнева, И.М. Назаров, Т.И. Сисигина // Загрязнение атмосферы как экологический фактор. – М.: Гидрометеиздат, 1978. – С. 34-57.

Бузыкин, А.И. Густота и продуктивность древесных ценозов / А.И. Бузыкин, Л.С. Пшеничникова, В.Г. Суховольский. – Новосибирск: Наука, 2002. – 152 с.

Букша, И.Ф. Инвентаризация и картографирование зеленых насаждений с помощью полевой ГИС Field-Mar / И.Ф. Букша, Р. Русс, Т.С. Мешкова, В.П. Пастернак, М. Черны // Ландшафт плюс. – 2006. – №1. – С. 48-51.

Букша, И.Ф. Применение полевой ГИС-технологии Field-Mar в ландшафтном строительстве для инвентаризации и картирования городских зеленых насаждений / И.Ф. Букша, В.П. Пастернак, Т.С. Пивовар, М.И. Букша // Современное состояние и перспективы применения ГИС-технологий и аэрокосмических методов в лесном хозяйстве и садово-парковом строительстве. Особенности преподавания данных дисциплин в высших и средних учебных заведениях: сб. статей. – Йошкар-Ола: Марийский гос. техн. ун-т, 2008. – С. 93-100.

Букша, И.Ф. Применение мобильной ГИС-технологии Field-Mar в лесном и садово-парковом хозяйстве / И.Ф. Букша, М.И. Букша // Научный вестник Нац. лесотехн. ун-та Украины. – 2013. – Вып. 23.5. – С. 28-34.

Булатова, Л. В. Распределение объектов системы озеленения по территории Екатеринбурга / Л.В. Булатова, Т.Б. Сродных // Лесная наука в реализации концепции уральской инженерной школы: социально-экономические и экологиче-

ские проблемы лесного сектора экономики: матер. XI междунар. научн.-техн. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – С. 274-278.

Булгаков, М.В. Выращивание березы на почвах, отравленных отходами производства / М.В. Булгаков // Обмен опытом по зеленому строительству. – Свердловск, 1961. – С. 20-22.

Бухарина, И.Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде / И.Л. Бухарина, Т.М. Поварничина, К.Е. Ведерников. – Ижевск: Ижевская гос. сельскохоз. акад., 2007. – 216 с.

Бухарина, И.Л. Эколого-биологические особенности адаптации древесных растений в условиях урбосреды / И.Л. Бухарина // Изв. Самарского научн. центра РАН. – 2008. – Т. 10, №2(19). – С. 607-612.

Бухарина, И.Л. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях: моногр. / И.Л. Бухарина, А.А. Двоеглазова. – Ижевск: Удмуртский ун-т, 2010. – 184 с.

Бухарина, И.Л. Городские насаждения: экологический аспект / Л.И. Бухарина, А.Н. Журавлева, О.Г. Большова. – Ижевск: Удмурт. гос. ун-т, 2012. – 206 с.

Васильева, К.А. Особенности роста ассимиляционного аппарата клена остролистного (*Acer platanoides* L.) в условиях загрязнения / К.А. Васильева, Г.А. Зайцев // Изв. Самарского научн. центра РАН. – 2011. – №1-4. – С. 790-792.

Васфилов, С.П. Внутривидовая изменчивость белых берез в условиях воздушного загрязнения: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / Васфилов Сергей Петрович. – Свердловск, 1988. – 22 с.

Васфилов, С.П. Биоэкологические особенности древесных растений в насаждениях урбаноэкосистем (на примере г. Ижевска) / А.А. Васфилов // Динамика лесных фитоценозов и экология насекомых вредителей в условиях антропогенного воздействия. – УрО АН СССР, 1991. – С. 58-70.

Ведерников, К.Е. Особенности фенологического развития и жизненное состояние древесных растений в условиях городской среды / К.Е. Ведерников, И.Л. Бухарина // Биоморфологические исследования в современной ботанике: матер. Междунар. конф. – Владивосток: БСИ ДВО РАН, 2007. – С. 107-108.

Ведерников, К.Е. Биоэкологические особенности древесных растений в насаждениях урбаноэкосистем (на примере г. Ижевска): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Ведерников Константин Евгеньевич. – Тольятти, 2008. – 20 с.

Ведерников, К.Е. Динамика содержание тяжелых металлов в ассимиляционном аппарате древесных растений в условиях техногенной среды / К.Е. Ведерников, И.Л. Бухарина, М.А. Шумилова // Химическая физика и мезоскопия. – 2009. – №4(11). – С. 483-489.

Ведерников, К.Е. Особенности морфогенеза годичного прироста древесных растений в условиях городской среды / К.Е. Ведерников, И.Л. Бухарина // Лесоведение. – 2010. – №6. – С. 33-38.

Вергунов, А.П. Учет санитарно-гигиенических и микроклиматических факторов городской среды / А.П. Вергунов // Архитектурная композиция садов и парков. – 1980. – С. 29-38.

Верхунов, П.М. Закономерности строения разновозрастных сосняков / П.М. Верхунов. – Новосибирск: Наука, 1976. – 234 с.

Верхунов, П.М. Таксация леса: учеб. пособие / П.М. Верхунов, В.Л. Черных. – Изд. 2-е, стер. – Йошкар-Ола: Марийский гос. техн. ун-т, 2009. – 396 с.

Вишневецкий, В.С. Полевые испытания ГИС Field-Map / В.С. Вишневецкий // Оборудование и инструмент для профессионалов. – Харьков. – 2009. – №5-6. – С. 74-75.

Владимиров, В.В. Растения и окружающая среда / В.В. Владимиров. – М.: Стройиздат, 1982. – 228 с.

Владимиров, В.В. Город и ландшафт: проблемы, конструктивные задачи и решения / В.В. Владимиров, Е.М. Микулина, З.Н. Яргина. – М.: Мысль, 1986. – 238 с.

Владимиров, В.В. Урбоэкология. Курс лекций / В.В. Владимиров – М.: Междунар. независимый эколого-политолог.ун-т, 1999. – 204 с.

Владимиров, В.В. Инженерная подготовка и благоустройство территорий / В.В. Владимиров, Н.Г. Давидянц, О.С. Расторгуев, В.Л. Шафран. – М.: Архитектура-С, 2004. – 265 с.

Волынец, И.Н. Показатель H/D в городских посадках лиственницы сибир-

ской г. Екатеринбурга // И.Н. Волынец, А.И. Глухов, И.В. Шевелина // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы V Всерос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2009. – С. 138-141.

Ворожнина, С.С. Влияние автомагистрали на состояние лесных массивов города Екатеринбурга / С.С. Ворожнина, А.В. Суслов, В.С. Ворожнин, Ю.И. Маркелов // Экологические системы и приборы. – 2011. – №4. – С. 13-16.

Воропанов, П.В. Определение текущего древесного прироста / П.В. Воропанов. – М.: Гослесбумиздат, 1961. – 124 с.

Выварец, А.Д. Оценка загрязнения атмосферы промышленными выбросами: моногр. / А.Д. Выварец, И.С. Белик, Н.В. Степанова, Ю.В. Леонтьева, Н.Л. Никулина. – Екатеринбург: Урал. гос. техн. ун-т – УПИ, 2006. – 108 с.

Высоцкий, К.К. Закономерности строения смешанных древостоев / К.К. Высоцкий. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 177 с.

Гайсин, Р.Н. Относительная высота березы повислой в посадках в условиях Екатеринбурга / Р.Н. Гайсин, Е.М. Наумова, И.В. Шевелина // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы VII Всерос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2011. – Ч. 2. – С. 26-28.

Ганаба, Д.В. Влияние экологических факторов на рост растений в городских агломерациях [Электронный ресурс] / Д.В. Ганаба // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки – 2015. – №5. – URL: <http://apriori-journal.ru/journal-estesvennie-nauki/id/899> (дата обращения: 04.04.2016).

Гаркави, Л.Х. Антистрессорные реакции и активационная терапия / Л.Х. Гаркави, Е.Б. Квакина, Т.С. Кузьменко. – М.: Имедис, 1998. – 617 с.

Гафуров, Ф.Г. Почвы Свердловской области. – Екатеринбург: Урал. ун-т, 2008. – 396 с.

Гетко, Н.В. Растения в техногенной среде / Н.В. Гетко // Структура и функция ассимиляционного аппарата. – Минск: Наука и техника, 1989. – 205 с.

Гиниятуллин, Р.Х. Лесные насаждения санитарно-защитной зоны промышленного города: состояние, устойчивость, дифференциация и депонирующее значение (Предуралье, Стерлитамакский промышленный центр): автореф. дис. ...

докт. с.-х. наук: 06.03.02 / Гиниятуллин Рафак Хизбуллинович. – Уфа, 2019. – 39 с.

Гирс, Г.И. Физиология ослабленного дерева / Г.И. Гирс. – Новосибирск: Наука, 1982. – 255 с.

Глазунов, В.Г. Ветровал и ветролом деревьев в городе / В.Г. Глазунов // Экология, мониторинг и рациональное природопользование. – М.: Моск. гос. ун-т леса, 2001. – 216 с.

Головей, Е.А. Возможности влияния на человека посредством диффузного расположения зеленых насаждений в городском урбанизированном пространстве / Е.А. Головей, М.И. Горнова // Новые идеи нового века: матер. междунар. науч. конф. – Т. 3. – Хабаровск: Тихоокеанский гос. ун-т, 2014. – С. 22-27.

Головина, Е.Т. Насыпные почвогрунты г. Свердловска и их использование в озеленении / Е.Т. Головина, О.Т. Шаркунова // Вопросы озеленения г. Свердловска. – 1962. – Вып. 1. – С. 64-67.

Голубева, Е.И. Диагностика состояния экосистем в сфере антропогенного воздействия: автореф. дис. ... докт. биол. наук: 11.00.11 / Голубева Елена Ильинична. – М., 1999. – 48 с.

Гордеев, Ю.А. Шумозащитные свойства зеленых насаждений на урбанизированных территориях / Ю.А. Гордеев, А.А. Кулагин // Вестник Удмуртского университета. – 2014. – Вып. 1. – С. 7-13.

Городков, А.И. Влияние зеленых насаждений на снижение уровня промышленных шумов / А.И. Городков, М.А. Сванидзе, В.В. Цыганков // Строительство и архитектура. – 1988. – №1. – С.39-43.

Городков, А.В. К оценке оптимальной позиции шумозащитных полос зеленых насаждений / А.В. Городков // Совершенствование лесоустroительного проектирования и учета лесов: тез. докл. науч.-произв. конф. – Брянск: Брянский технолог. ин-т, 1989. – С. 31-32.

Городков, А.В. Архитектура, проектирование и организация культурных ландшафтов: учеб. пособие / А.В. Городков. – Брянск: Брянский гос. инж.-техн. акад., 2003. – 268 с.

Городков, А.В. Ветрозащитные свойства зеленых насаждений / А.В. Город-

ков, В.Н. Фурина. – Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2008. – №2(590). – С. 75-79.

Горохов, В.А. Городское зеленое строительство / В.А. Горохов. – М.: Стройиздат, 1991. – 416 с.

Горский, П.В. Руководство для составления таблиц / П.В. Горский. – М.: Гослесбумиздат, 1962. – 93 с.

Горышина, Т.К. Экология растений: учеб. пособие / Т.К. Горышина. – М.: Высшая школа, 1979. – 368 с.

Горышина, Т.К. Растение в городе / Т.К. Горышина. – Л.: ЛГУ, 1991. – 152 с.

Гродзинский, А.М. Краткий справочник по физиологии растений / А.М. Гродзинский, Д.М. Гродзинский. – Киев: Наукова думка, 1973. – 591 с.

Груздева, Л.П. Биотестирование токсичности почв в радиусе действия техногенных выбросов металлургического комбината / Л.П. Груздева, Д.А. Шаповалов, В.С. Груздев // Земледелие. – 2008. – №4. – С. 16-17.

Булыгин, Н.Е. Дендрология / Н.Е. Булыгин. – М.: Моск. гос. ун-т леса, 2001. – 528 с.

Гиниятуллин, Р.Х. Водный дефицит древесных растений в различных экологических условиях / Р.Х. Гиниятуллин, А.Ю. Кулагин // Изв. Саратовского ун-та. Новая серия. Серия: Химия. Биология. Экология. – 2015. – №3. – С. 57-64.

Громадин, А.В. Дендрология / А.В. Громадин, Д.Л. Матюхин. – 6-е изд., стер. – М.: Академия, 2013. – 368 с.

Демиденко, Г.А. Влияние показателей климата и погодных явлений крупных городов на психофизиологическое состояние человека // Вестник Красноярского гос. аграр. ун-та. – 2015. – №7. – С. 3-8.

Денисов, С.А. Пылезадерживающая способность листвы березы пушистой и бородавчатой / С.А. Денисов // Лесохозяйственная информация. – 1977. – №16. – С. 21-23.

Денисова, О.Н. Особенности микроэлементного состава растений придорожной зоны в условиях остаточного загрязнения свинцом: дис. ... канд. хим. наук: 03.00.16 / Денисова Ольга Николаевна. – Казань, 2006. – 145 с.

Добронравова, В.Ф. Зеленые насаждения в условиях городской среды / В.Ф. Добронравова, Е.А. Павлова // Природообустройство и рациональное природопользование – необходимые условия социально-экономического развития России. – 2005. – Ч. 1. – С. 18-21.

Дробышев, Ю.И. Устойчивость древостоев: структурные аспекты / Ю.И. Дробышев, С.А. Коротков, Д.Е. Румянцев // Лесохозяйственная информация. – 2003. – №7. С. 2-11.

Дружкина, Т.А. Скрининговая оценка экологического состояния городской среды по древесным культурам: дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Дружкина Татьяна Алексеевна. – Астрахань, 2007. – 242 с.

Дубровин, Е.Г. Применение метода флуктуирующей асимметрии для оценки состояния окружающей среды города Саранска / Е.Г. Дубровин, Т.А. Дубровина, О.Ю. Тарасова // Изв. Самарского научн. центра РАН. – 2013. – №3-2. – Т. 15. – С. 631-634.

Евгеньев, И.Е. Автомобильные дороги в окружающей среде / И.Е. Евгеньев, Б.Ф. Каримов. – М.: Трансдорнаука, 1997. – 285 с.

Емельянова, О.Ю. К методике комплексной оценки декоративности древесных растений / О.Ю. Емельянова // Современное садоводство. – 2016. – № 3(19). – С. 54-74.

Ерофеева, Е.А. Глубина зимнего покоя и скорость выхода из него березы повислой в биотопах с различным уровнем автотранспортного загрязнения / Е.А. Ерофеева // Вестник Нижегородского ун-та. – 2010. – №2-2. – С. 396-398.

Жихарева, К.В. Роль озеленения и зеленых насаждений в формировании городской среды города Белая Церковь / К.В. Жихарева // Науковий вісник НЛТУ України. – 2014. – Вып. 24.4. – С. 57-64.

Завьялов, К.Е. Состояние искусственных насаждений березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях магнетитового загрязнения: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03 / Завьялов Константин Евгеньевич. – Екатеринбург, 2009. – 131 с.

Завьялов, К.Е. Морфология и химический состав листьев опытных культур березы повислой (*Betula pendula* Roth) в условиях магнетитового загрязнения / К.Е.

Завьялов // Изв. Оренбургского гос. аграрн. ун-та. – 2013. – №3(41). – С. 230-232.

Загреев, В.В. Географические закономерности роста и продуктивности древостоев / В.В. Загреев. – М.: Лесная промышленность, 1978. – 240 с.

Залесов, С.В. Основы фитомониторинга: учеб. пособие / С.В. Залесов, Е.А. Зотеева, А.Г. Магасумова, Н.П. Швалева. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2007. – 76 с.

Залесов, С.В. Изменение морфометрических показателей хвои сосны обыкновенной в условиях аэропромвыбросов / С.В. Залесов, А.В. Бачурина // Вестник Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2008. – №3(60). – С. 36-39.

Залесов, С.В. Использование показателя флуктуирующей асимметрии березы повислой для оценки ее состояния [Электронный ресурс] / С.В. Залесов, Б.О. Азбаев, Л.А. Белов, Ж.О. Суюндиков, Е.С. Залесова, А.С. Оплетаев // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №5. – URL: <http://science-education.ru/119-14518> (дата обращения: 01.10.2018).

Залесов, С.В. Надземная фитомасса и площадь поверхности ассимиляционного аппарата искусственных березовых древостоев в зеленой зоне города Астаны / С.В. Залесов, Л.А. Белов, А.В. Данчева, Е.С. Залесова, А.С. Оплетаев, Ж.Ю. Суюндиков // Вестник Алтайского гос. аграрн. ун-та. – 2015. – №3(125). – С. 55-62.

Залесов, С.В. Оценка стабильности состояния березы на различном удалении от ОАО "Уфалейникель" / С.В. Залесов, А.В. Бачурина, А.О. Шевелина // Леса России и хозяйство в них. – 2018. – №1(64). – С. 21-27.

Захаров, В.К. Варьирование таксационных признаков древостоев / В.К. Захаров // Лесное хозяйство. – 1956. – №2. – С. 66-70.

Захаров, В.К. Лесная таксация: учебник для специальности «Лесное хоз-во» высш. учеб. заведений / В.К. Захаров. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 406 с.

Захаров, В.М. Здоровье среды: методика оценки / В.М. Захаров, А.С. Баранов, В.И. Борисов, А.В. Валецкий, Н.Г. Кряжева, Е.К. Чистякова, А.Т. Чубинишвили – М.: Центр экологической политики России, 2000. – 68 с.

Захаров, Ю.В. Модели устойчивости деревьев и насаждений к воздействию

ветра / Ю.В. Захаров, В.Г. Суховольский. – Красноярск: Сиб. гос. техн. ун-т, 2002. – С. 1-5.

Зиганшин, Р.А. Площадь выявления насаждений и необходимое число наблюдений в древостоях элементов леса / Р.А. Зиганшин // Сибирский лесной журнал. – 2015. – №1. – С. 87-104.

Игнатенко, А.А. Динамика содержания аминокислот в листьях древесных растений в условиях промышленной среды // А.А. Игнатенко, В.П. Тарабрин // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 1980. – №1. – С. 127-129.

Игнатова, М.В. Масса и площадь листьев у яблони ягодной, боярышника кроваво-красного, клена ясенелистного и рябины обыкновенной в уличных посадках Екатеринбурга / М.В. Игнатова, Л.И. Аткина // Вестник Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник. – 2007. – №8. – С.22-24.

Илькун, Г.М. Газоустойчивость растений: вопросы экологии и физиологии Г.М. Илькун. – Киев: Наукова думка, 1971. – 146 с.

Илькун, Г.М. Загрязнители атмосферы и растения // Г.М. Илькун. – Киев: Наукова думка, 1978. – 246 с.

Иматова И.А. Стратегия сохранения экологического потенциала городских лесов Екатеринбурга [Электронный ресурс] / И.А. Иматова, Н.К. Прядилина // APRIORI. Серия: Естественные и технические науки. – 2014. – №3. – URL: <http://apriori-journal.ru/journal-estesvennie-nauki/id/269> (дата обращения: 01.11.2018).

Ишерская, Е.В. Особенности температурного режима городов в различных ландшафтно-климатических зонах / Е.В. Ишерская, Л.М. Фетисов // Климат и город: Климат – город – человек: матер. конф. – М.: Полиграфист, 1974. – С. 41-43.

Кавеленова, Л.М. Особенности сезонной динамики водорастворимых фенольных соединений в листьях березы повислой в условиях урбосреды / Л.М. Кавеленова, С.Н. Лищинская, Л.Н. Карандаева // Химия растительного сырья. – 2001. – №3. – С. 91-96.

Калашникова, И.В. Изменение структуры и фитомассы кроны березы повислой (*Betula pendula* Roth) и березы пушистой (*B. pubescens* Ehrh.) в условиях тех-

ногенного стресса / И.В. Калашникова, З.Я. Нагимов, А.К. Махнев // Вестник Красноярского гос. аграр. ун-та. – №10(61). – 2011. – С. 123-126.

Калинин, М.И. Корневедение / М.И. Калинин. – М.: Экология, 1991. – 173 с.

Калякина, Р.Г. Влияние интенсивности движения автотранспорта на величину асимметрии листовой пластинки березы повислой / Р.Г. Калякина, А.С. Журавлев, А.А. Дмитриев // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2017. – №47. – С. 110-113.

Каменский, Г.Г. Почвы г. Свердловска // Материалы по озеленению городов Урала. – Свердловск: УралНИИ АКХ, 1958. – Вып. 1. – С. 113-120.

Каплунов, В.Я. Прогнозирование строения древостоев по диаметру / В.Я. Каплунов // Лесоведение. – 1989. – №5. – С. 68-73.

Карелина, Е.О. Анализ дворовых пространств города Екатеринбурга [Электронный ресурс] / Е.О. Карелина // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1. – URL: <https://science-education.ru/article/view?id=19123> (дата обращения: 10.12.2018).

Каташинских, Н.С. Проблемы экологической безопасности г. Екатеринбурга [Электронный ресурс] / Н.С. Каташинских, Т.Б. Багирова // Студенческий научный форум 2012: матер. IV Междунар. электрон. науч. конф. – М.: РАЕ, 2012. – URL: <https://scienceforum.ru/2012/article/2012000947> (дата обращения: 01.10.2018).

Клауснитцер, Б. Экология городской фауны: науч. изд. / Б. Клауснитцер. – М.: Мир, 1990. – 248 с.

Кения, М.В. Роль низкомолекулярных антиоксидантов при окислительном стрессе / М.В. Кения, А.И. Лукиш, Е.П. Гуськов // Успехи современной биологии. – 1993. – №4. – С. 456-470.

Клевцова, М.А. Экологическая оценка влияния атмосферных выбросов на кислотность корки березы повислой (*Betula pendula* Roth.) / М.А. Клевцова, А.И. Якунин // Приволжский научный вестник. – 2016. – №9(61). – С. 55-57.

Кобышева, Н.В. Климат России / Н.В. Кобышева, Е.М. Акентьева, Э.Г. Богданова, В.Н. Карпенко, М.В. Ключева, В.И. Липовская, К.М. Лугина, Е.Н. Разова, Ю.А. Семенов, В.В. Стадник, К.Ш. Хайруллин. – СПб.: Гидрометеиздат, 2001. – 654 с.

Ковалева, Г.В. Почвы и техногенные поверхностные образования в городских ландшафтах / Г.В. Ковалева, В.Т. Старожилов, А.М. Дербенцева, А.В. Назаркина. – Владивосток: Дальнаука, 2012. – 159 с.

Ковина, В.П. Динамика загрязнений воздуха по фенолу в г. Екатеринбурге [Электронный ресурс] / В.П. Ковина, П.А. Бусаров, И.В. Шевелина // Студенческий научный форум 2016: матер. VIII Междунар. электрон. науч. конф. – М.: РАЕ, 2016. – URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016021805> (дата обращения: 01.10.2018).

Ковязин, В.Ф. Устойчивость древесных пород к техногенным нагрузкам / В.Ф. Ковязин, Н.В. Беляева // Изв. СПб. лесотехн. акад. – 2007. – Вып. 179. – С. 15-24.

Козловский, В.Б. Ход роста основных лесообразующих пород / В.Б. Козловский, В.М. Павлов. – М.: Лесная промышленность, 1967. – 327 с.

Колесников, Б.П. Лесорастительные условия и типы лесов Свердловской области / Б.П. Колесников, Р.С. Зубарева, Е.П. Смолоногов. – Свердловск: УНЦ АН СССР, 1973. – 176 с.

Колмогорова, Е.Ю. Известия высших учебных заведений / Е.Ю. Колмогорова, В.А. Кайдорина, О.А. Неверова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2012. – №2. – С. 20-27.

Коновалов, Н.А. Деревья и кустарники для озеленения городов Урала / Н.А. Коновалов, Н.А. Луганский, Т.Б. Сродных – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2010. – 181 с.

Колтунов, Е.В. Влияние стволовой гнили на энтоморезистентность березы повислой (*Betula pendula*) в системе: береза-непарный шелкопряд / Е.В. Колтунов, Г.И. Клобуков // Макромицеты бореальной зоны: тр. Всеросс. научно-практ. конф. – Красноярск: Сиб. гос. техн. ун-т, 2009. – С. 113-118.

Колтунов, Е.В. Стволовые гнили березы повислой (*Betula pendula* Roth.) в городских лесопарках и пригородных лесах г. Екатеринбурга и Свердловской обл. [Электронный ресурс] / Е.В. Колтунов // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – №6. – URL: <https://www.science-education.ru/article/view?id=25360> (дата обращения: 01.10.2018).

Комин, Г.Е. Изменение рангов деревьев по диаметру в древостое / Г.Е. Комин // Труды Института экологии растений и животных УФ АН СССР. – 1970. – Вып. 67. – С. 252-262.

Коновалов, В.Ф. Ландшафтно-экологическая оценка насаждений г. Уфы / В.Ф. Коновалов, Л.Н. Блонская, Р.Ф. Исяньюлова // Вестник Башкирского гос. аграрн. ун-та. – 2011. – № 4. – С. 70-74.

Корона, В.В. Строение и изменчивость листьев растений: основы модульной теории / В.В. Корона, А.Г. Васильев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 280 с.

Коросов, А.В. Специальные методы биометрии / А.В. Коросов. – Петрозаводск: Петрозаводский гос. ун-т, 2007. – 363 с.

Коршиков, И.И. Адаптация растений к условиям техногенно-загрязненной среды / И.И. Коршиков. – Киев, 1996. – 235 с.

Костюкевич, Н.И. Озеленение городов и населенных мест в целях оздоровления их климата / Н.И. Костюкевич // Лесоведение и лесное хозяйство. – 1974. – Вып. 8. – С. 28-32.

Кочергина, М.В. К вопросу изучения бактерицидных свойств фитонцидов древесно-кустарниковых пород / М.В. Кочергина // Лес. Наука. Молодежь ВГЛ-ТА. – Воронеж: Воронежская гос. лесотехн. акад., 2003. – С. 90-95.

Красинский, Н.П. Значение изучения дымо- и газоустойчивости растений для озеленения промплощадок и населенных пунктов / Н.П. Красинский // Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые ассортименты. – Горький: Горьковский ун-т, 1950. – С. 1-8.

Краснощекова, Н.С. Оздоровление внешней среды Москвы средствами озеленения / Н.С. Краснощекова // Оздоровление окружающей среды. – М., 1973. – С. 60-70.

Криволицкий, Д.А. Биоиндикация в городах и пригородных зонах / Д.А. Криволицкий. – М.: Наука, 1993. – 122 с.

Крюковский, Ф.В. Определение листовой поверхности у древесных пород / Ф.В. Крюковский // Ботанический журнал. – 1966. – №5. – С. 678-681.

Кувшинова, К.В. Климат / К.В. Кувшинова // Урал и Предуралье. – М.:

Наука, 1968. – С. 82-117.

Кузнецов, Е.В. Значение эколого-физиологических методов, в оценке состояния городских и пригородных лесонасаждений / Е.В. Кузнецов // Докл. ТСХА. 1998. – №269. – С. 288-294.

Кузьмин, А.В. Статистические закономерности морфогенеза листа в условиях неоднородной среды / А.В. Кузьмин, В.К. Жирнов, В.Н. Исаков // Экология. – 1989. – №5. – С. 68-70.

Кузьмичев, В.В. Закономерности динамики древостоев: принципы и модели / В.В. Кузьмичев. – Новосибирск: Наука, 2013. – 208 с.

Кулагин, Ю.З. О причинах засухоустойчивости березы бородавчатой / Ю.З. Кулагин // Вопросы развития лесного хозяйства на Урале. – 1961. – Вып. 25. – Ч. 2. – С. 67-73.

Кулагин, Ю.З. Древесные растения и промышленная среда // Ю.З. Кулагин. – М.: Наука, 1974. – 124 с.

Кулагин, Ю.З. О газоаккумулирующей функции древесных растений / Ю.З. Кулагин, С.А. Сергейчик // Экология. – 1982. – №6. – С. 9-14.

Кулагин, Ю.З. Индустриальная дендрэкология и прогнозирование / Ю.З. Кулагин. – М.: Наука. 1985. – 117 с.

Кулагин, А.Ю. Эколого-биологические особенности ивовых в связи с техногенезом и оптимизацией нарушенных ландшафтов (на примере рода *Salix L.*): автореф. дис. ... докт. биол. наук: 03.00.05 / Кулагин Алексей Юрьевич. – Екатеринбург, 1994. – 35 с.

Кулагин, А.А. Древесные растения и биологическая консервация промышленных загрязнителей / А.А. Кулагин. – М.: Наука, 2005. – 190 с.

Куприянова, М.К. Карты осенних фенофаз березы в Свердловской области / М.К. Куприянова // Вопросы физической и экономической географии. – 1970. – Сб. 134, вып. 7. – С. 69-78.

Курбатова, А.С. Экология города / А.С. Курбатова, В.Н. Башкин, Н.С. Касимов. – М.: Научный мир, 2004. – 624 с.

Кучерявий, В.П. Озеленения населенных мест / В.П. Кучерявий. – Львов:

Свит, 2008. – 456 с.

Лакин Г.Ф. Биометрия – М.: Высшая Школа, 1990. – 351 с.

Лисина, Е.И. Шумозащитная функция насаждений бульваров Екатеринбурга в летнее и зимнее время / Е. И. Лисина // Ландшафтная архитектура – традиции и перспективы: матер. I науч. конф., посв. 10-летию каф. ландшафт. строит. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2012. – С. 30-32.

Лищинская, С.Н. Эколого-биологические особенности березы повислой (*Betula pendula* Roth.) как компонента антропогенных лесонасаждений г. Самары: дисс. ... канд. биол. наук: 03.00.16 / Лищинская Софья Наумовна. – Самара, 2003. – 192 с.

Луганская, С.Н. Роль насаждений городских улиц в формировании среды обитания человека / С.Н. Луганская // Цивилизационные перемены в России: сб. науч. тр. по матер. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. – С. 155-161.

Луганский, Н.А. Березняки Среднего Урала / Н.А. Луганский, Л.А. Лысов. – Свердловск: Урал. ун-т, 1991. – 100 с.

Луганский, Н.А. Структура и динамика сосновых древостоев на Среднем Урале / Н.А. Луганский, З.Я. Нагимов. – Екатеринбург: Урал. ун-т, 1994. – 140 с.

Лунц, Л.Б. Городское зеленое строительство / Л.Б. Лунц. – М.: Стройиздат, 1974. – 275 с.

Лысов, Л.А. Особенности формирования и производительности березняков Среднего Урала: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук / Лысов Леонид Анатольевич. – Свердловск, 1984. – 17 с.

Лысов, Л.А. Моделирование роста и динамики производительности производных березовых древостоев на Среднем Урале / Л.А. Лысов // Экологические основы рационального использования и воспроизводства лесов Урала. – Свердловск, 1986. – С. 93-94.

Макальская, В.Н. Климат / В.Н. Макальская // Природа Ижевска и его окрестностей. – 1998. – С. 17-38.

Макаренко, А.А. О свойствах рядов распределения деревьев в древостоях / А.А. Макаренко // Лесоведение. – 1975. – №6. – С. 42-49.

Макарова, Н.М. Повышение средозащитной роли зеленых насаждений в городской черте / Н.М. Макарова // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2013. – № 1(09). – С. 23-31.

Мальков, Ю. Г. Санитарно-гигиеническая роль городских зеленых насаждений / Ю.Г. Мальков. – Красноярск, 1987. – 140 с.

Малышев, В.В. Моделирование динамики роста насаждений в процессе ухода за лесом / В.В. Малышев, Ю.В. Мурзинов // Лесотехнический журнал. – 2012. №2. – С. 60-65.

Малютин, К.Г. Ассортимент древесных и кустарниковых пород, рекомендуемых для озеленения г. Челябинска (рекомендации для комиссии по озеленению) / К.Г. Малютин. – Челябинск, 1960. – 20 с.

Мамаев, С.А. Ассортимент древесных и кустарниковых пород для озеленения населенных мест Свердловской области / С.А. Мамаев, И.П. Петухова. – Свердловск: УрО АН СССР, 1961. – 30 с.

Мамаев, С.А. Формы внутривидовой изменчивости древесных растений / С.А. Мамаев. – М.: Наука, 1973. – 461 с.

Мамаев, С.А. Устойчивость декоративных насаждений в городских промышленных центрах / С.А. Мамаев, А.К. Махнев, Л.А. Семкина // Человек и ландшафты. Антропогенные ландшафты Урала и прилегающих территорий. – Свердловск, 1979. – С. 33-34.

Мамаев, С.А. Определитель деревьев и кустарников Урала / С.А. Мамаев. – Екатеринбург: УрО РАН, 2000. – 259 с.

Мамаева, Е.Т. Естественная древесная растительность в городской среде / Е.Т. Мамаева // Естественная растительность промышленных и урбанизированных территорий Урала: сб. науч. тр. – Свердловск: УрО АН СССР, 1990. – С. 73-78.

Марченко, С.И. Техника выполнения измерительных работ с использованием компьютера: учеб. пособие / С.И.Марченко. – Брянск: Брянский гос. инж.-техн. ун-т, 2008а. – 20 с.

Марченко, С.И. Биоиндикационное значение березы повислой для оценки качества природной среды / С.И.Марченко // Актуальные проблемы лесного ком-

плекса. – 2008б. – №21-1. – С. 144-147.

Марченко, С.И. Методика определения величины асимметрии площадей половинок листьев с использованием компьютерных технологий / С.И. Марченко // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2009. – №22. – С. 123-127.

Матвеев, С.М. Дендрохронология: учеб. пособие / С.М. Матвеев, Д.Е. Румянцев. – Воронеж: Воронежская гос. лесотехн. акад., 2013. – 139 с.

Махнев, А.К. Итоги исследования по проблемам создания защитных и декоративных насаждений в условиях медеплавильных заводов на Урале / А.К. Махнев, С.А. Мамаев // Труды института экологии растений и животных РАН. – 1979. – С. 3-47.

Машинский, В.Л. Благоустройство и озеленение жилых районов / В.Л. Машинский, В.С. Теодоронский. – М.: Моск. гос. ун-т леса, 1999. – 127 с.

Менщиков, С.Л. Распределение деревьев опытных культур *Betula pendula* Roth. по ступеням толщины и уровень загрязнения почвы в зоне действия выбросов комбината "Магнезит" / С.Л. Менщиков, Завьялов К.Е., Кузьмина Н.А., Мохначев П.Е., Цепордей И.С. // Успехи современного естествознания. – 2016. – №10. – С. 84-89.

Мигалина, С.В. Изменение морфологии листа *Betula pendula* Roth и *B. pubescens* Ehrh. вдоль зонально-климатической трансекты Урала и Западной Сибири / С.В. Мигалина, Л.А. Иванова, А.К. Махнев // Экология. – 2010. – №4. – С. 257-265.

Милованович, Д.А. Типы лесов Среднего Урала (Нижнетагильского округа) / Д.А. Милованович. – Пермь, 1928. – 24 с.

Мироненко, Е.В. Загрязнение воздуха и древесные растения / Е.В. Мироненко // Лесная геоботаника и биология древесных растений. – Брянск: Брянский инст. транспортного машиностр., 1988. – С. 67-70.

Мозолевская, Е.Г. Лес и промышленные выбросы / Е.Г. Мозолевская, О.А. Катаев // Лесное хозяйство. – 1992. – №10. – С. 2-4.

Мозолевская, Е.Т. Проблемы озеленения города глазами эколога / Е.Т. Мозолевская // Проблемы озеленения крупных городов: матер. 11 междунар. конф. –

М.: ЭКСПО, 2008. – С. 12-14.

Морокова, В.В. Климат Свердловска / В.В. Морокова, Т.А. Швер. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – 194 с.

Мусин, Х.Г. Природа и насаждения зеленых зон городов: моногр. / Х.Г. Мусин, Р.Г. Набиуллин, А.Ф. Хайретдинов, Ф.Ю. Хайрутдинов, М.Р. Сахибгареев. – М.: Моск. гос. ун-т леса, 2006. – 415 с.

Нагимов, З.Я. Нормативно-справочные материалы по таксации лесов Урала: учеб. Пособие / З.Я. Нагимов, Л.А. Лысов, И.Ф. Коростелев, С.В. Соколов, В.М. Соловьев, Б.С. Фимушин, И.В. Шевелина, Г.В. Анчугова. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2002. – 160 с.

Нагимов, З.Я. Таксация леса: учеб. пособие / З.Я. Нагимов, И.Ф. Коростелев, И.В. Шевелина. – Изд. 2. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2013. – 300 с.

Найданова, С.Ю. Анализ динамики загрязнений воздуха диоксидом азота в г. Екатеринбург [Электронный ресурс] / С.Ю. Найданова, О.Б. Зубакова, Д.В. Метелев, И.В. Шевелина // Студенческий научный форум 2016: матер. VIII Междунар. электрон. науч. конф. – М.: РАЕ, 2016. – URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016020253> (дата обращения: 01.10.2018).

Неверова, О.А. Биоэкологическая оценка загрязнения атмосферного воздуха по состоянию древесных растений / О.А. Неверова. – Новосибирск: Наука, 2001. – 119 с.

Неверова, О.А. Ксерофитизация листьев древесных растений как показатель загрязнения атмосферного воздуха (на примере г. Кемерово) / О.А. Неверова, Е.Ю. Колмогорова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. – 2002. – №3. – С. 29-33.

Неверова, О.А. Характеристика некоторых процессов жизнедеятельности березы повислой в условиях техногенного загрязнения города Кемерово / О.А. Неверова // Региональная экология. – 2002. – №3-4(19). – С. 58-63.

Неверова, О.А. Древесные растения и урбанизированная среда: экологические и биотехнологические аспекты / О.А. Неверова, Е.Ю. Колмогорова. – Новосибирск: Наука, 2003. – 222 с.

Немчинов, М.В. Охрана окружающей природной среды при проектировании и строительстве автомобильных дорог: учеб. пособие / М.В. Немчинов, В.Г. Систер, В.В. Силкин. – М.: Ассоциация строительных вузов, 2004. – 204 с.

Никитин, К.Е. Лиственница на Украине / К.Е. Никитин. – Киев: Урожай, 1966. – 331 с.

Николаевский, В.С. Биологические основы газоустойчивости растений / В.С. Николаевский. – Новосибирск: Наука, 1979. – 213 с.

Николаевский, В.С. Влияние некоторых факторов городской среды на состояние древесных пород / В.С. Николаевский, И.В. Васина, Н.Г. Николаевская // Вестник Моск. гос. ун-та леса – Лесной вестник – 1998. – №2. – С. 28-38.

Николаевский, В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации / В.С. Николаевский. – М.: Моск. гос. ун-т леса, 1999. – 193 с.

Николаевский, В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации / В.С. Николаевский. – Пушкино: ВНИИЛМ, 2002. – 202 с.

Нуриев, Д.Н. Информационные технологии для определения площадных и линейных размеров ассимиляционного аппарата растений / Д.Н. Нуриев, И.В. Шевелина // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XII Всерос. науч.-техн. конф. – Ч. 2. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. – С. 114-117.

Нуриев, Д.Н. Изменение морфологических параметров листа березы повислой в вертикальном профиле кроны / Д.Н. Нуриев // European Research: сб. ст. XIII Междунар. науч.-практ. конф. – Пенза: Наука и Просвещение, 2017. – С. 171-173.

Одум, Ю. Экология / Ю. Одум. – М.: Мир, 1986. – 328 с.

Осипова, Н.В. Охрана окружающей среды средствами озеленения / Н.В. Осипова, В.С. Теодоронский. – Пушкино: КМУ ВИПКЛХ, 1984. – 124 с.

Павлов, И.Н. Глобальные изменения среды обитания древесных растений / И.Н. Павлов. – Красноярск: Сиб. гос. техн. ун-т, 2003. – 156 с.

Петровский, В.С. Автоматизированное проектирование режимов и выбора

машин для проведения рубок ухода за лесом: моногр. / В.С. Петровский, В.В. Малышев, Ю.В. Мурзинов. – М.: Флинта: Наука, 2012. – 216 с.

Петункина, Л.О. Береза повислая как индикатор качества городской среды / Л.О. Петункина, А.С. Сарсацкая // Вестник Кемеровского гос. ун-та. – 2015. – № 4-3(64). – С. 68-71.

Пихтовникова, Н.А. Накопление пыли на листьях деревьев и кустарников / Н.А. Пихтовникова, Л.И. Аткина // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XII Всерос. науч.-техн. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2016. – Ч. 2. – С. 136-139.

Покровская, С.Ф. Влияние загрязнения воздуха на растения / С.Ф. Покровская. – М.: Наука, 1973. – 52 с.

Пономарев, Н.А. Березы СССР / Н.А. Пономарев. – М.–Л.: Госуд. лесн. техн. изд-во, 1933. – 249 с.

Правдин, Л.Ф. Сосна обыкновенная. Изменчивость, внутривидовая систематика и селекция / Л.Ф. Правдин – М.: Наука, 1964. – 192 с.

Постановление Правительства Российской Федерации от 20.05.2017 №607 «О Правилах санитарной безопасности в лесах» [Электронный ресурс] // Официальный интернет-портал правовой информации. – URL: <http://pravo.gov.ru/proxy/ips/?docbody=&nd=102433598> (дата обращения: 30.05.2017).

Радченко, Н.М. Методы биоиндикации в оценке состояния окружающей среды: учеб.-метод. пособие / Н.М. Радченко, А.А. Шабунюв. – Вологда: ВИРО, 2006. – 148 с.

Решение Екатеринбургской городской Думы от 26.10.2010 №67/30 «О внесении изменений в Решение Екатеринбургской городской Думы от 10.06.2003 №40/6 «О стратегическом плане Екатеринбурга» // Вестник Екатеринбургской городской Думы. – 2010. – №192. – С. 5.

Риль, Т.Р. Размножение декоративных форм березы прививкой в условиях Среднего Урала / Т.Р. Риль // Бюл. ГБС. – 1972. – Вып. 86. – С. 100-103.

Рогожин, В.В. Пероксидаза как компонент антиоксидантной системы живых организмов / В.В. Рогожин. – СПб.: ГИОРД, 2004. – 240 с.

Россинина, А.А. Таксация древесных растений в урбанизированной среде (на примере г. Красноярск): дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02 / Россинина Анна Анатольевна. – Красноярск, 2010. – 162 с.

Рунова, Е.М. Оценка стабильности развития березы повислой (*Betula Pendula* Roth) как показателя здоровья среды / Е.М. Рунова, О.А. Костромина, М.В. Сенченко, Е.Г. Кривоносова // Труды Братского гос. ун-та. Серия: Естественные и инженерные науки – развитию регионов Сибири. – 2007. – №1. – С. 89-93.

Рылова, Н.Г. Морфологические особенности городских почв в зависимости от времени их формирования / Н.Г. Рылова, М.Ф. Кузнецов // Матер. 7-й науч.-практ. конф. преподавателей и сотрудников УдГУ. – Ижевск: Удмуртский гос. ун-т, 2005. – С. 203-206.

Садоков, В.П. Определение весенних дат устойчивого перехода средней суточной температуры воздуха через 0, +5 °С, их прогноз и оценка / В.П. Садоков, В.Ф. Козельцева, Н.Н. Кузнецова // Труды Гидрометеорологического научно-исследовательского центра Российской Федерации. – 2012. – №348. – С. 162-172.

Сафронова, У.А. Накопление пыли на листьях черемухи Маака в городских условиях / У.А. Сафронова, Л.И. Аткина // Экологические проблемы севера. – 2010. – Вып. 13. – С. 24-26.

Сафронова, У.А. Оценка состояния и морфологическая характеристика черемухи Маака (*radus Maaskii* (Rupr.) Kom.) на объектах озеленения г. Екатеринбурга: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03 / Сафронова Ульяна Александровна. – Екатеринбург, 2013. – 122 с.

Свалов, Н.Н. О динамике рядов распределения диаметров стволов в разновозрастных сосняках / Н.Н. Свалов, С.Н. Свалов // Лесоведение. – 1973. – №5. – С. 58-62.

Сейдафаров, Р.А. Адаптационные реакции ассимиляционного аппарата липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в условиях техногенеза (на примере Уфимского и Стерлитамакского промышленных центров) / Р.А. Сейдафаров // Вестник Красноярского гос. аграрн. ун-та. – 2012. – №8. – С. 82-87.

Семенюта, Ф.И. Лабораторно-практические занятия по лесной таксации и ле-

соустройству / Семенюта Ф.И. – М.: Лесная промышленность, 1968. – 208 с.

Семкина, Л.А. Состояние зеленых насаждений в г. Свердловске и на некоторых промышленных предприятиях / Л.А. Семкина, О.Б. Макарова, С.В. Яковлева // Экология и интродукция растений на Урале: сб. науч. тр. – Свердловск: УрО АН СССР, 1991. – С. 81-93.

Сергеева, К.А. Физиологические и биохимические основы зимостойкости древесных растений / К.А. Сергеева – БАСССР: Наука, 1971. – 176 с.

Сергейчик, С.А. Растения и экология / С.А. Сергейчик. – Минск: Ураджай, 1997. – 224 с.

Серебряков, И.Г. Экологическая морфология растений / И.Г. Серебряков. – М.: Высшая школа, 1962. – 378 с.

Силуков, Ю.Д. Экологическая безопасность на автомобильных дорогах: учеб. пособие / Ю.Д. Силуков. – Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2004. – 173 с.

Ситникова, А.С. Влияние промышленных загрязнений на устойчивость растений / А.С. Ситникова. Алма-Ата: Наука, 1990. – 86 с.

Слепых, В.В. Антимикробные и ионизирующие свойства древесной растительности под влиянием абиотических факторов: дис. ... докт. биол. наук: 06.03.02 / Слепых Виктор Васильевич. – СПб., 2010. – 265 с.

Смит, У.Х. Лес и атмосфера / У.Х. Смит. – М.: Прогресс, 1985. – 429 с.

Соловьева, Е.С. Оценка химического загрязнения урбаноземов / Е.С. Соловьева, Т.Я. Ашихмина, И.Г. Широких // Экологические проблемы промышленных городов: сб. науч. трудов. – Саратов, 2011. – С. 136-139.

Состояние природной среды в СССР в 1988 году: межведомственный доклад. – М.: Лесная промышленность, 1990. – 176 с.

Спиридонов, В.Н. Изменение плотности почвы в лесу под влиянием рекреационной нагрузки / В.Н. Спиридонов // Лесное хозяйство. – 1983. – №6. – С. 16-17.

Сродных, Т.Б. Ассортимент древесно-кустарниковых видов в озеленении г. Екатеринбурга / Т.Б. Сродных, В.Н. Денeko // Леса Урала и хозяйство в них. – 2004. – Вып. 25. – С. 151-159.

Сродных, Т.Б. Почвы на объектах озеленения города Екатеринбурга / Т.Б.

Сродных, В.А. Нечаева // Аграрный вестник Урала. – 2008. – №5(47). – С. 41-42.

Сродных, Т.Б. Состав и состояние насаждений бульваров в городах Урала / Т.Б. Сродных, Е.И. Лисина, Е.Ю. Медведева // Проблемы современной дендрологии: матер. Междунар. науч. конф., посв. 100-летию со дня рождения П.И.Лапина. – М.: Товарищество научных изданий КМК, 2009. – С. 508-511.

Сродных, Т.Б. Влияние освещенности на рост и состояние насаждений уличных посадок на примере Екатеринбурга / Т.Б. Сродных, Е.А. Карпова // Леса России и хозяйство в них. – 2010. – Вып. 3. – С. 47-52.

Сродных, Т.Б. Характеристика насаждений бульваров городов Среднего Урала / Т.Б. Сродных, Е.И. Лисина // Аграрный вестник Урала. – 2012. – №2(94). – С. 54-56.

Старченко, В.М. Эколого-биологические особенности вида как определяющие факторы успешного использования растений в озеленении / В.М. Старченко, Н.А. Тимченко // Достижения науки и техники АПК. – 2012. – №9. – С. 61-63.

Суслов, А.В. Состояние сосновых насаждений в условиях автотранспортного загрязнения в районе г. Екатеринбурга: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.02 / Суслов Александр Владимирович. – Екатеринбург, 2011. – 156 с.

Тарабрин, В.П. Фитотоксичность органических и неорганических загрязнителей / В.П. Тарабрин, Е.Н. Кондратюк, В.Г. Башкатов. – Киев: Наукова думка, 1986. – 215 с.

Тарасова, О.В. Экосистемы в городской среде: структура, состояние, устойчивость, управление: учеб. пособие. – Красноярск: Сиб. фед. ун-т, 2013. – 204 с.

Теодоронский, Т.С. Объекты ландшафтной архитектуры: учеб. пособие / Т.С. Теодоронский, И.О. Боговая. – М.: Моск. гос. ун-т леса, 2003. – 300 с.

Теодоронский, Т.С. Строительство и эксплуатация объектов ландшафтной архитектуры / Т.С. Теодоронский, Е.Д. Сабо, В.А. Фролова. – М.: Академия, 2006. – 352 с.

Тетиор, А.Н. Городская экология: учеб. пособие / А.Н. Тетиор. – М.: Академия, 2008. – 338 с.

Тишин, Д.В. Оценка продуктивности древостоев: учеб.-метод. пособие / Д.В.

Тишин. – Казань: Казанский ун-т, 2011. – 31 с.

Ткаченко, М.Е. Общее лесоводство / М.Е. Ткаченко. – М.: Гослесбумиздат, 1952. – 599 с.

Токин, Б.П. Целебные яды растений – фитонциды: моногр. / Б.П. Токин. – Л.: Ленинградский гос. ун-т, 1980. – 279 с.

Третьяков, Н.В. Закон единства в строении древостоев / Н.В. Третьяков. – М.; Л.: Новая деревня, 1927. – 113 с.

Трофимова, И.Л. Фитомасса живого напочвенного покрова в сосняках зеленой зоны г. Екатеринбурга [Электронный ресурс] / И.Л. Трофимова, И.В. Шевелина, З.Я. Нагимов, Т.М. Алиева // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – №1. – URL: <http://science-education.ru/115-12075> (дата обращения: 04.04.2016).

Турмухаметова, Н.В. Адаптация березы повислой к условиям урбанизации / Н.В. Турмухаметова // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: матер. Всерос. науч. конф. – Йошкар-Ола: Марийский гос. ун-т, 2006. – С. 336-337.

Тюрин, А.В. Нормальная производительность насаждений сосны, березы, осины, и ели / А.В. Тюрин. – 2-е изд. – М.; Л.: Сельхозгиз, 1931. – 273 с.

Тютюнник, Ю.Г. Разнообразие почв урбанизированного ландшафта / Ю.Г. Тютюнник // Биосфера. – 2014. – Т. 6, №2. – С. 187-195.

Усольцев, В.А. Рост и структура фитомассы древостоев / В.А. Усольцев. – Новосибирск: Наука, 1988. – 253 с.

Устенко, А.А. Загрязнение атмосферного воздуха в Екатеринбурге / А.А. Устенко // Экологическая безопасность в техносферном пространстве: матер. Всерос. межвуз. науч.-практ. конф. – Екатеринбург: Урал. гос. эконом. ун-т, 2018. – С. 108-111.

Уткин, А.И. Конверсионные коэффициенты для определения площади листовой поверхности насаждений основных лесообразующих пород России / А.И. Уткин, Л.С. Ермолова, Д.Г. Замолодчиков // Лесоведение. – 1997. – №3. – С. 74-78.

Уткин, А.И. Площадь поверхности лесных растений: сущность, параметры, использование / А.И. Уткин, Л.С. Ермолова, И.А. Уткина. – М.: Наука, 2008. – 292 с.

Федосеева, Г.П. Оптимизация системы озеленения города Екатеринбурга / Г.П. Федосеева, Т.С. Благодаткова, Т.Ф. Оконешникова // Известия Иркутского гос. ун-та. Серия: Биология. Экология. – 2011. – Т. 4, №2. – С. 94-108.

Феклистов, П.А. Насаждения деревьев и кустарников в условиях урбанизированной среды г. Архангельска / П.А. Феклистов. – Архангельск: Архангельский гос. техн. ун-т, 2004. – 112 с.

Фролов, А.К. Окружающая среда крупного города и жизнь растений в нем / А.К. Фролов. – СПб.: Наука, 1998. – 328 с.

Хазанов, М.И. Искусственные грунты, их образования и свойства / М.И. Хазанов. – М.: Наука, 1975. – 135 с.

Халевицкая, Г.С. Особенности атмосферной циркуляции / Г.С. Халевицкая // Климат Свердловской области. – Л.: Гидрометеиздат, 1981. – С. 17-33.

Харитонович, Ф.Н. Биология и экология древесных пород. М.: Лесная промышленность, 1968. – 304 с.

Харитонов, Л.П. Роль кроны в перехвате промышленных выбросов / Л.П. Харитонов // Влияние промышленного загрязнения на лесные экосистемы и мероприятия по повышению их устойчивости: тезисы докладов к Всесоюз. науч.-практ. совещанию. – Каунас: Райде, 1984. – С. 110-111.

Хикматуллина, Г.Р. Сравнительный анализ морфологических параметров листьев древесных растений в условиях урбанизированной среды: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08 / Хикматуллина Гульшат Радиковна. – Казань, 2013. – 186 с.

Христофоров, Е.Н. Транспорт и окружающая среда: моногр. / Е.Н. Христофоров, Н.Е. Сакович. – Брянск: Брянская гос. сельскохозяйств. акад., 2012. – 181 с.

Хузина, Г.Р. Влияние урбаносреды на морфометрические показатели листа березы повислой (*Betula pendula* Roth) / Г.Р. Хузина // Вестник Удмуртского ун-та. Серия: Биология. Науки о Земле. – 2010. – №3. – С. 53-57.

Черных, В.Л. Таксация леса. Нормативно-справочная информация: учеб. пособие / В.Л. Черных, П.М. Верхунов, А.В. Попова, О.Н. Бажин. – Йошкар-Ола: Марийский гос. техн. ун-т, 2006. – 188 с.

Черненькова, Т.В. Реакция лесной растительности на промышленное загряз-

нение / Т.В. Черненко. – М.: Наука, 2002. – 191 с.

Чернышенко, О.В. Критерии оценки поглотительной способности древесных растений в урбоэкосистемах / О.В. Чернышенко // Экология, мониторинг и рациональное природопользование: науч. труды. – 2001. – Вып. 307. С. 133-140.

Чернышенко, О.В. Поглотительная способность и газоустойчивость растений в условиях города / О.В. Чернышенко. – 2-е изд. – М.: Моск. гос. ун-т леса, 2002. – 120 с.

Чистякова, С.Б. Охрана окружающей среды / С.Б. Чистякова. – М.: Стройиздат, 1988. – 272 с.

Чуваев, П.А. Вопросы индустриальной экологии и физиологии растений / П.А. Чуваев, Ю.З. Кулагин, Н.В. Гетко. – Минск: Наука и техника, 1973. – 206 с.

Чурагулова, З.С. Рекомендации по лесовосстановительным мероприятиям в условиях регионального и локального загрязнения окружающей среды промышленными выбросами / З.С. Чурагулова. – Уфа: Минист. лесн. хоз. и прир. ресурсов респ. Башкортостан, 2003. – 22 с.

Шевелев, С.Л. Пути совершенствования нормативной базы таксации хвойных древостоев Средней Сибири / С.Л. Шевелев // Хвойные бореальной зоны. – 2007. – №4-5. – С. 358-361.

Шевелина, И.В. Функциональное зонирование и рекреационная емкость лесопарков города Екатеринбурга / И.В. Шевелина, И.Ф. Коростелев, З.Я. Нагимов, А.Н. Росляков // Леса России и хозяйство в них. – 2008. – №1(30). – С. 85-93.

Шевелина, И.В. Максимальные значения таксационных показателей и санитарное состояние деревьев в условиях города Екатеринбурга / И.В. Шевелина, И.Ф. Коростелев, Т.Б. Сродных, Г.И. Шарафиева, З.Я. Нагимов // Аграрный вестник Урала. – 2014. – №6(124). – С. 68-72.

Шевелина, И.В. Характеристика лесного фонда зеленой зоны в пределах муниципального образования «Г. Екатеринбург» [Электронный ресурс] / И.В. Шевелина, З.Я. Нагимов, Д.В. Метелев // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1. – URL: <https://www.science-education.ru/article/view?id=18547> (дата обращения: 10.12.2018).

Шевелина, И.В. Динамика лесоводственно-таксационных показателей насаждений лесопарков города Екатеринбурга / И.В. Шевелина, Д.В. Метелев, З.Я. Нагимов // Успехи современного естествознания. – 2016. – №6. – С. 125-131.

Шевелина, И.В. Оценка возможности применения программно-измерительного комплекса на базе ГИС Field-Map при разработке таблиц объемов стволов в городских условиях / И.В. Шевелина, А.В. Суслов, Д.Н. Нуриев, З.Я. Нагимов, А.Н. Марковцева, И.С. Дунаев // Успехи современного естествознания. – 2018. – №1. – С. 62-67.

Шестакович, Е.А. Динамика загрязнений воздуха оксидом азота в г. Екатеринбурге [Электронный ресурс] / Е.А. Шестакович, А.Ю. Угольникова, В.Г. Пак, И.В. Шевелина // Студенческий научный форум 2016: матер. VIII Междунар. электрон. науч. конф. – М.: РАЕ, 2016. – URL: <https://scienceforum.ru/2016/article/2016021831> (дата обращения: 01.10.2018).

Шиманюк, А.П. Дендрология. – М.: Лесная промышленность, 1964. – 334 с.

Шмаков, Е.П. Оценка уровней загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспорта в г. Екатеринбурге / Е.П. Шмаков, Е.Е. Цыпушкина // Здоровье и образование в XXI веке. – 2015. – №4. – С. 399-402.

Шуберт, Р. Возможности применения растительных индикаторов в биологической системе контроля окружающей природной среды / Р. Шуберт // Проблемы фоновый мониторинга состояния природной среды: сб. ст. – Л.: ГМИ, 1982. – Вып. 1. – С. 104-111.

Шумовская, Д.А. Нормы озеленения современного города: мечты и реальность / Д.А. Шумовская // Проблемы региональной экологии. – 2000. – №2. – С. 45-50.

Юкнис, Р.А. Некоторые закономерности роста деревьев / Р.А. Юкнис // Моделирование и контроль производительности древостоев. – Каунас: Академия, 1983. – С. 118-121.

Яковлева, М.И. Состав и содержание фенольных соединений в листьях березы повислой (*Betula pendula* Roth.) на различных уровнях рекреационной дигрессии / М.И. Яковлева // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2017. – №49. –

C. 151-154.

Япрынцева, Г.А. Оценка декоративности аборигенных видов древесно-кустарниковой растительности в городских условиях / Г.А. Япрынцева, Е.С. Чайка, О.А. Иванова // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. – 2017. – №219. – С. 96-103.

Bache, D.H. Particulate transport within canopies. Prediction of depositjnnvelocitie / D.H. Bache // Atmos. Environ. – 1979. – N. 13. – P. 1681-1687.

Barrett, F. A questionnaire-based review of the operational use of remotely sensed data by national forest inventories / F. Barrett, R.E. McRoberts, E. Tomppo, E. Cienciala, L.T. Waser // Remote Sensing of Environment. – 2016. – N. 174. – P. 279-289.

Cheeseman, J.M. Hydrogen Peroxide and Plant Stress: A Challenging Relationship / J.M. Cheeseman // Plant Stress. – 2007. – N. 1 – P. 4-15.

Chiesura, A. The role of urban parks for the sustainable city / A. Chiesura // Landscape and Urban Planning. – 2004. – N. 68. – P. 129-138.

Clark, N.A. An assessment of the utility of a non-metric digital camera for measuring standing trees / N.A. Clark, R.H. Wynne, D.L. Schmoltdt, M. Winn // Computers and Electronics in Agriculture. – 2000. – N. 28. – P. 151-169.

Djakovic T. The role of cell wall peroxidase in the inhibition of leaf and fruit growth / T. Djakovic, Z. Jovanovic // Bulg. J. Plant Physiol. – 2002. – P. 264-272.

Dochinger, L.S. Interception of airborne particles by tree plantings. / L.S. Dochinger // Envir. Qual. – 1980. – N. 2. – P. 265-268.

Hegemeyer, J. Ecophysiology of plant growth under heavy metal stress / J. Hegemeyer // Heavy metal stress in plants. From molecules to Ecosystems – Berlin: Springer, 1999. – P. 170-172.

Huttunen, S. Effects of air pollutants on wintertime water economy of the Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) / S. Huttunen, P. Havas, K. Laine // Holarctic Ecology. – 1981. – N. 4. – P. 94-101.

Kandiannan, K. Allometric model for leaf area estimation in black piper (*Piper nigrum* L.) / K. Kandiannan, C. Kailasam, K. Chandaragiri, // Agron. Crop. Sci. – 2002. – N. 188. – P. 138-140.

Kasperidus, H.D. Städte, Urbanisierung und Struktur der Stadt aus ökologischer Sicht / H.D. Kasperidus // Stadtokologie und Kleingarten – verbesserte Chancen für die Umwelt. – 2002. – Vol. 158. – S. 27-49.

Lal, K.N. A parid method of leaf area determination / K.N. Lal, M.S. Subba Rao // Nature. – 1951. – N 2. – P. 72.

McPherson, E.G. Urban forestry in North America / E.G. McPherson // Renewable resources journal. – 2006. – N. 4. – P. 8-12.

Möller, C.M. Untersuchungen über Laubmenge, Stoffverlust und Stoffproduktion des Waldes / C.M. Möller // Det forstl. Forsøgvaesen Denmark. – 1945. – Bd. 17. – P. 287.

Nilsen, E.T. Quantitative phenology and leaf survivorship of *Rhododendron maximum* in contrasting irradiance Appalachian mountains / E.T. Nilsen // Amer. J. Bot. – 1986. – N. 6. – P. 822-831.

Percy, K. The epicuticular waxes of *Pinus Strobus* subjected to air pollutants / K. Percy, R. Riding // Canad. J. Forest Res. – 1978. – N. 8. – P. 474-477.

Polster, H. Bestimmung von Blattflächen in situ durch lineare Messungen / H. Polster, H. Reichenbach // Biol. Cbl. – 1958. – Bd. 77, H. 3. – S. 256-277.

Pretzsch, H. Forest Dynamics, Growth and Yield. From Measurement to Model / H. Pretzsch. – Berlin: Springer, 2009. – 664 p.

Roger, L. Performance of different species and seed origins in the industrial penines of Herthern Britain / L. Roger // Aech. – 1981. – P. 107-120.

Rosso, P. Tree vigor and the susceptibility of Douglas fir to *Armillaria* root disease / P. Rosso, E. Hansen // Eur. J. Forest Pathol. – 1998. – N. 1. – P. 43-52.

Verwijst, T. Leaf allometry of *Salix viminalis* during the first growing season / T. Verwijst, Da-Zhu Wen // Tree Physiology. – 1996. – V. 16. – P. 655-660.

Zekoniene, V. Review assessment of research on soil pollution by heavy metals and pesticides / V. Zekoniene, V. Rutkoviene // Microclimate and physics of soil: problems, ecology, education: Int. conf. – Kaunas: Lithuanian agricultural university, 1997. – P. 25-28.

**ПРИЛОЖЕНИЯ**

### Характеристика объектов исследований

№ п/п	Наименование участка	Возраст, лет	Шаг посадки, м	Категория санитарного состояния, балл	Средние				Объем выборки, шт.	Фотография
					диаметр, см	высота, м	протяженность кроны, м	диаметр кроны, м		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Куйбышева	42	4,0	2,1	26,8	17,7	14,2	5,8	135	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
2	Декабристов	55	2,6	2,0	23,4	20,0	12,5	4,5	60	
3	Высоцкого	38	4,7	2,3	23,6	13,0	10,6	5,5	40	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
4	Щорса – Машинная	61	5,4	2,3	32,7	18,5	15,9	6,6	20	
5	Фурманова	38	4,5	2,3	22,4	13,7	10,3	5,7	25	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
6	Щорса – Сурикова	48	3,0	1,9	25,8	19,5	13,7	5,0	25	
7	Ясная	58	4,5	2,2	35,8	19,4	16,9	6,7	50	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
8	Смазчиков	51	4,0	2,1	25,9	16,3	13,3	5,5	20	
9	Шаумяна	57	4,5	2,2	33,2	18,6	15,4	6,3	50	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10	Сибирский тракт	31	2,6	2,1	17,1	14,5	10,2	4,2	10	
11	УГЛТУ	47	3,5	2,0	23,0	18,7	14,5	4,6	25	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
12	ЦПКиО	63	4,8	2,3	35,3	21,2	17,5	7,0	40	
13	Ангарская	69	4,0	2,5	36,5	22,8	16,7	6,2	25	

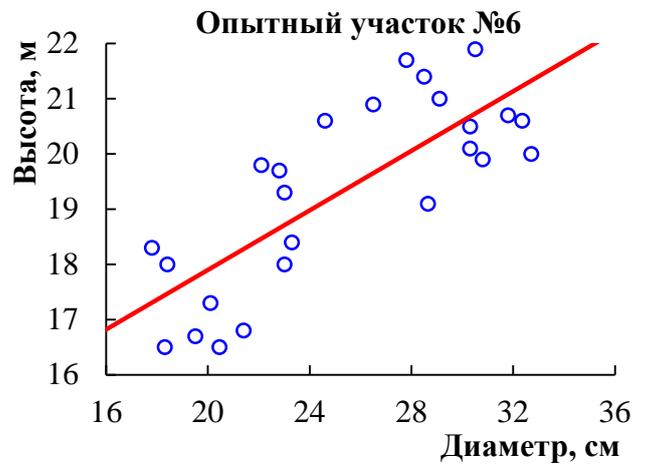
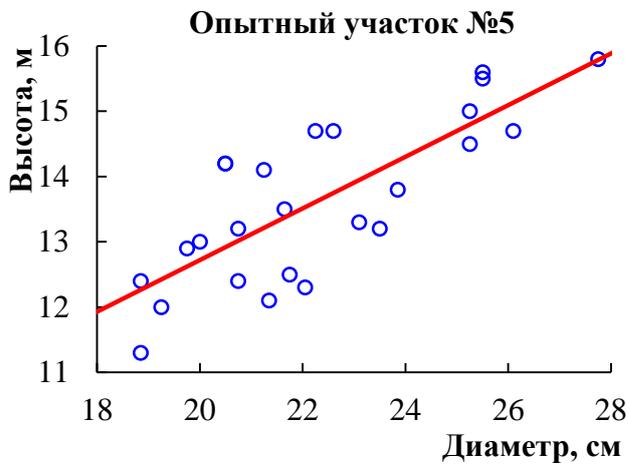
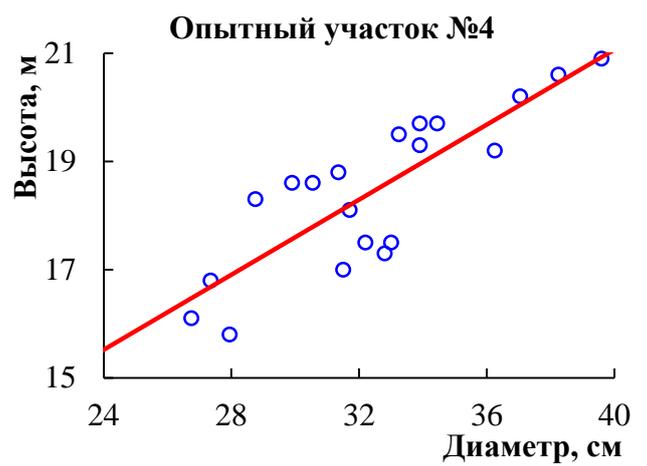
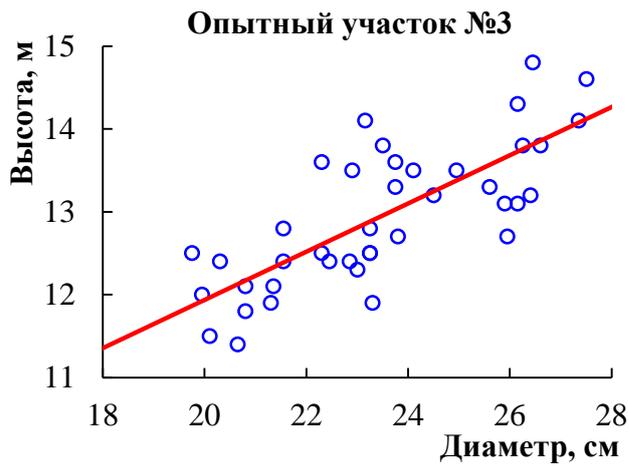
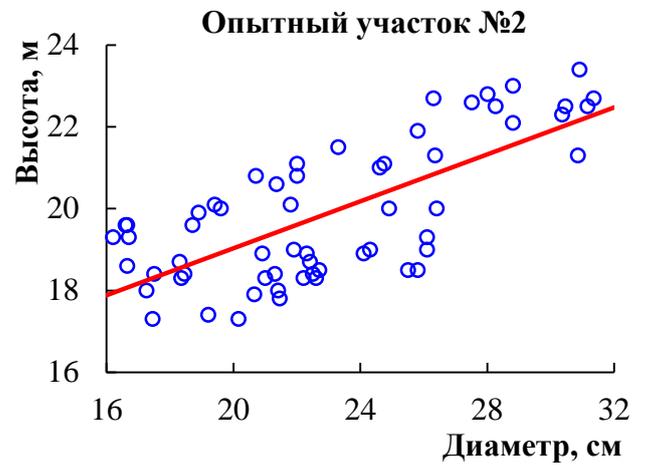
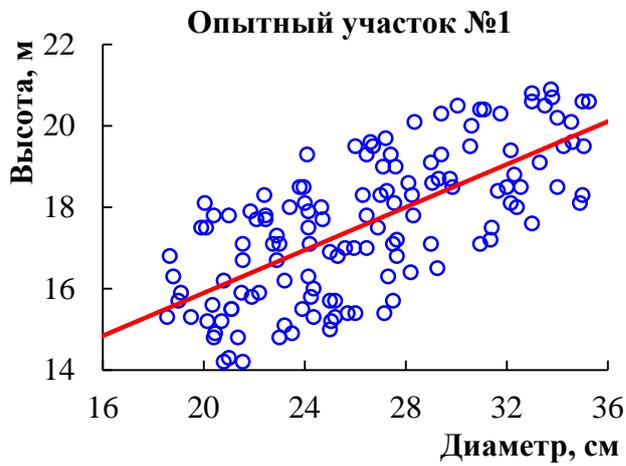
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
14	Блюхера – Гагарина	42	4,0	1,7	28,7	15,6	12,3	7,4	50	
15	Бардина	43	4,2	2,0	28,7	15,9	13,5	6,5	40	

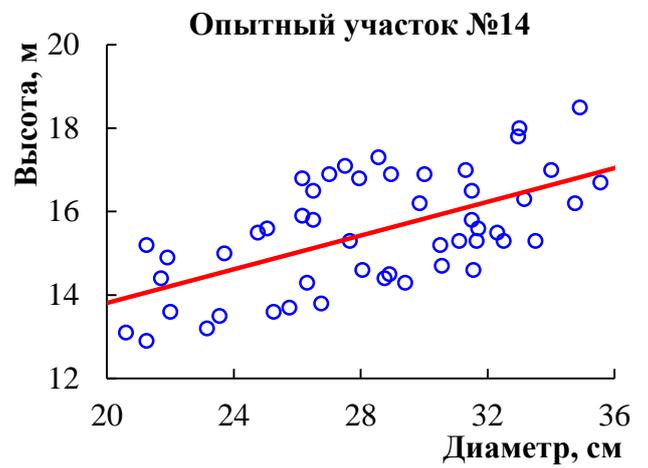
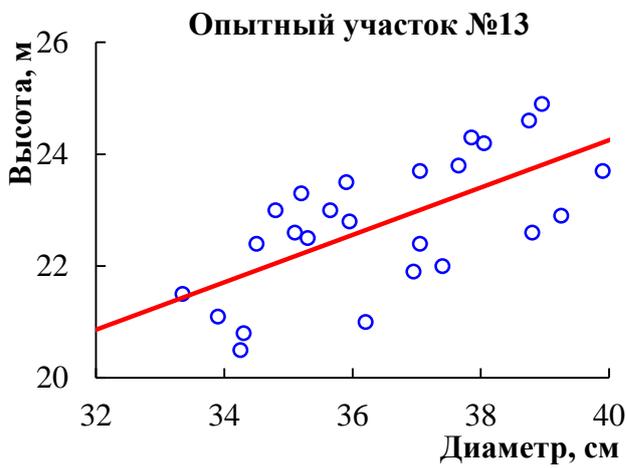
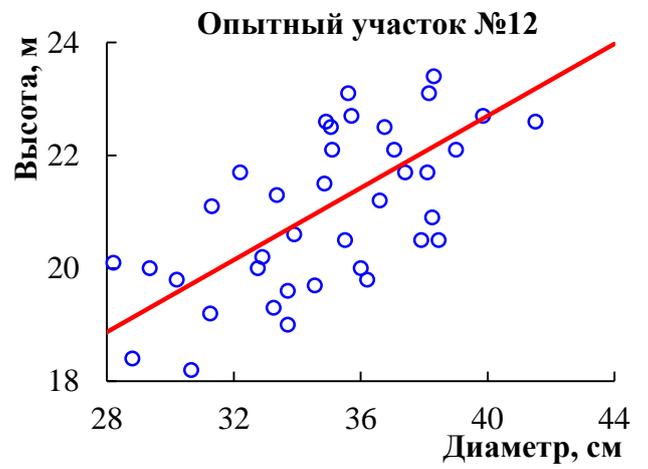
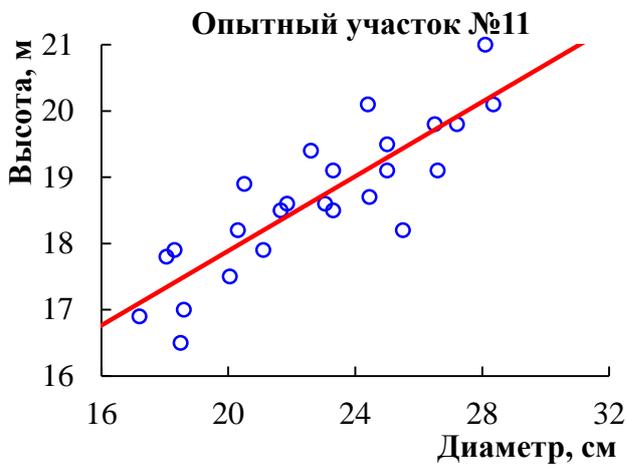
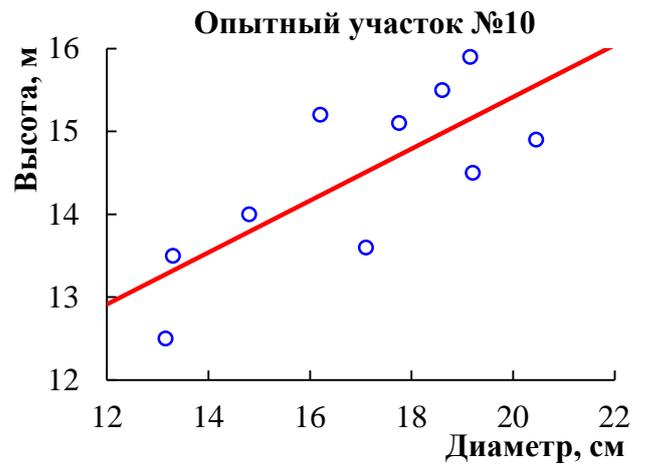
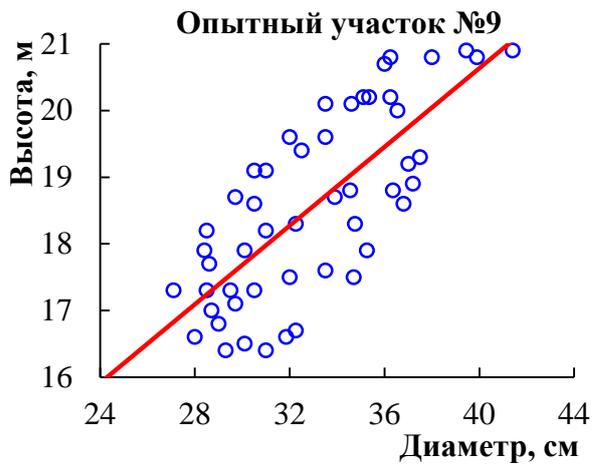
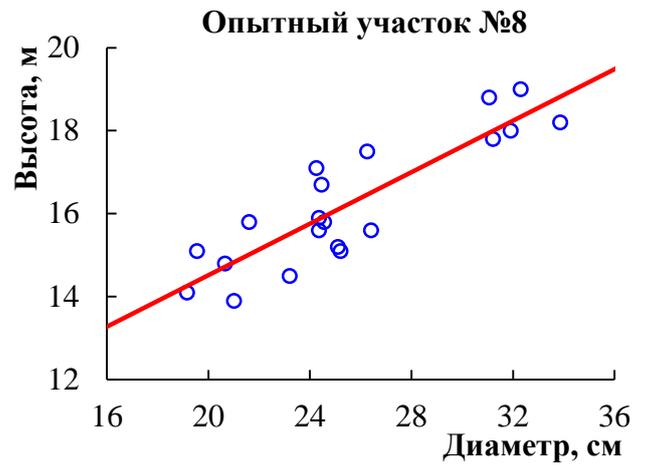
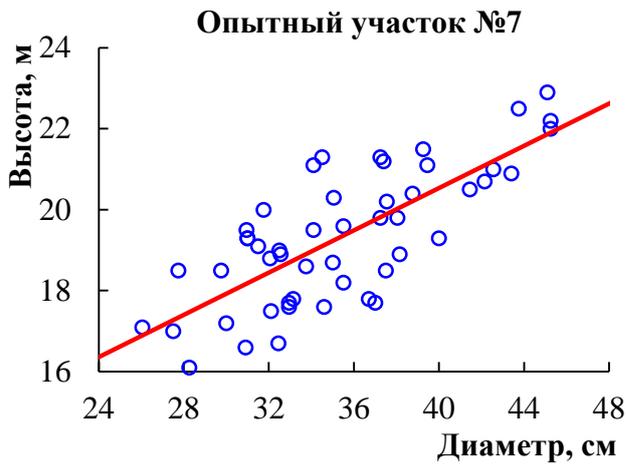
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
16	Блюхера – Д. Зверева	44	5,4	1,9	29,9	15,8	13,2	7,0	25	
17	Стачек	48	4,2	2,3	26,4	17,5	14,7	5,3	15	

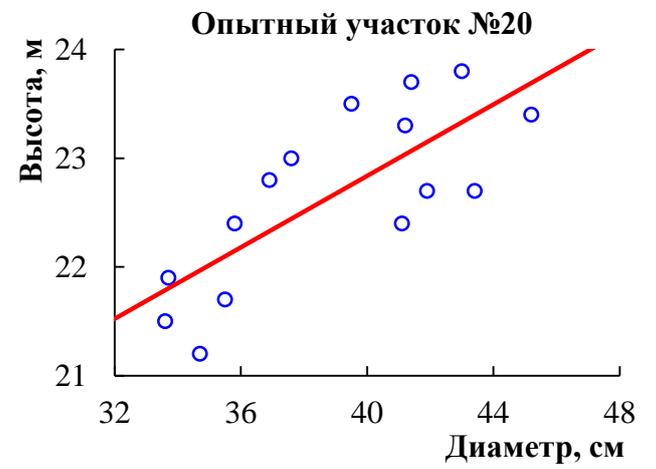
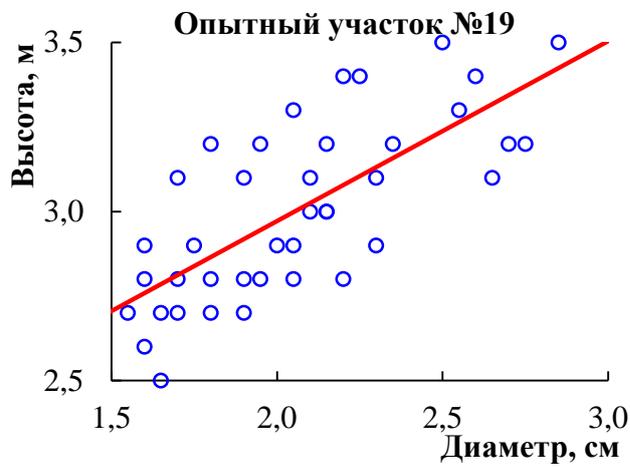
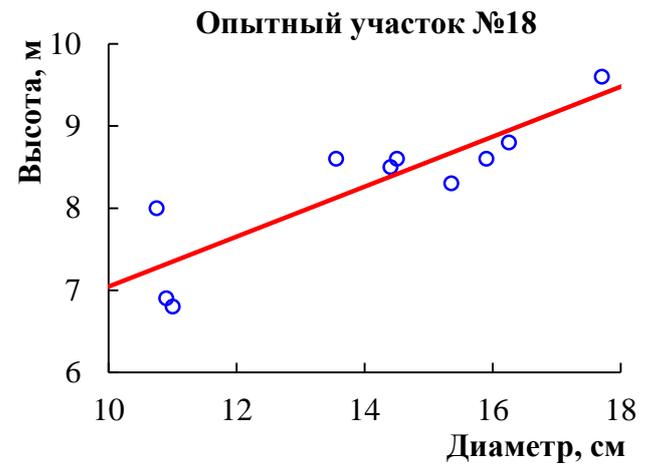
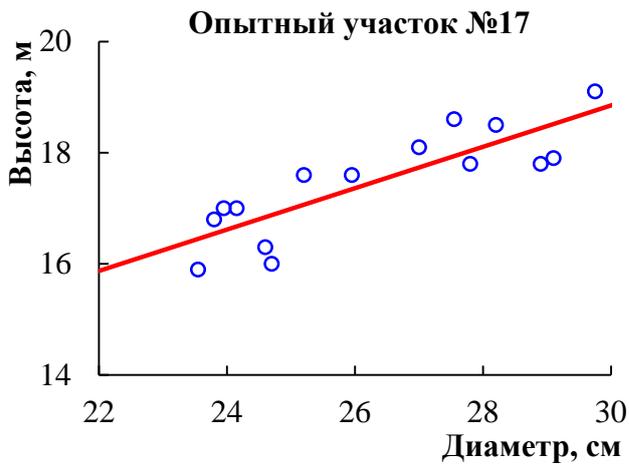
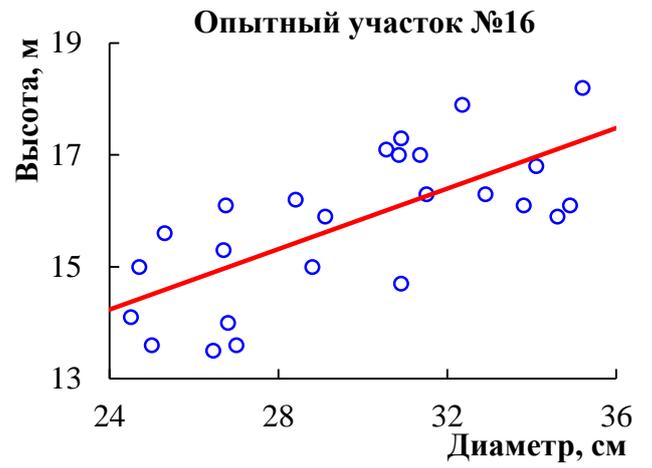
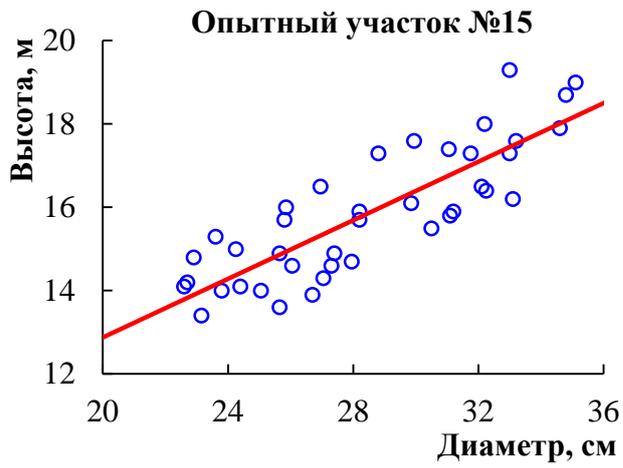
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
18	Никонова	17	5,0	1,9	14,2	8,3	7,0	4,5	10	
19	Мехренцева	6	4,5	1,6	2,1	3,0	1,9	1,2	40	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
20	Челюскинцев	85	3,8	2,6	39,1	22,7	16,1	6,5	15	

**Зависимости высот от диаметров деревьев березы повислой  
в озеленительных посадках г. Екатеринбурга**







**Образующие стволов учетных деревьев, построенные по данным:**

**1 – ПИК Field-Map; 2 – таксации срубленного дерева**

