

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

**«Сибирский государственный университет науки и технологий
имени академика М. Ф. Решетнева»**

На правах рукописи

Лисотова Евгения Викторовна

**ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ
ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ
(НА ПРИМЕРЕ Г. КРАСНОЯРСКА)**

**06.03.02 Лесоведение, лесоводство, лесоустройство и лесная
таксация**

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата сельскохозяйственных наук

Научный руководитель:

кандидат сельскохозяйственных наук,
доцент Иншаков Евгений Михайлович

Красноярск – 2022

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
1 ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ	8
1.1 Особенности урбанизированной среды	8
1.2 Роль и функции древесных растений в городских насаждениях	13
1.3 Адаптивные реакции растений под влиянием экологических факторов.....	20
1.4 Состояние древесных растений в условиях урбанизированной среды ..	24
2 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	37
2.1 Природно-климатические условия.....	37
2.2 Загрязнение атмосферного воздуха в г. Красноярске	45
3 ПРОГРАММА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	56
3.1 Программа исследований	56
3.2 Объекты исследования	56
3.3 Методы исследований	62
4 ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ Г. КРАСНОЯРСКА	67
4. 1 Видовой состав	67
4.2 Количественное участие.....	71
4.3 Возрастная структура	75
4.4 Оценка жизненного состояния древесных растений.....	83
5 ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ Г. КРАСНОЯРСКА	95
5.1 Оценка условий произрастания древесных растений на объектах исследования.....	95
5.2 Визуальная оценка	102
5.2 Биометрические показатели.....	105
5.3 Водоудерживающая способность листьев	114

5.5 Сравнительный анализ состояния древесных растений в урбанизированной среде.....	122
6 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОЗДАНИЮ ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ В Г. КРАСНОЯРСКЕ	127
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	131
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	133
ПРИЛОЖЕНИЕ А	165
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	172

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Важным фактором создания комфортной городской среды, особенно в крупных промышленных центрах, является грамотно организованная система искусственных насаждений. Для получения максимального эффекта от растительности требуется большая и разносторонняя исследовательская работа по изучению условий роста и развития урбофитоценозов, учитывающая природно-климатические и экологические условия конкретного региона, специфичность экологических условий и уровня техногенного загрязнения городской среды, состояние и устойчивость отдельных видов древесных растений. Для создания эффективно функционирующей системы искусственных насаждений на урбанизированных территориях необходимо обладать достаточной информацией об эколого-физиологических особенностях древесных растений, позволяющих оценить функциональный вклад каждого вида в улучшение качества среды.

Степень разработанности проблемы. Отдельные аспекты влияния техногенной среды на процессы роста и развития древесных растений, в том числе и в условиях г. Красноярска, изучались многими исследователями (Агапова, Павлова, 1977; Николаевский, 1979, 1983, 2002; Добровольский, 1980; Протопопов, 1982; Протопопова, 1982, 1984, 1987; Сергейчик, 1984; Горышина, 1991; Чернышенко, 1996, 2001, 2002, 2012, 2018; Биохимические индикаторы....., 1997; Судачкова, 1998; Авдеева, 2000, 2006, 2007, 2021а, б; Неверова, Колмогорова, 2003; Рунова, 2005, 2012; Павлов, 2006; Бухарина и др., 2007, 2010, 2012; Ставникова, Степень, 2008; Есякова, Степень 2011; Степень и др., 2013), но особенности состояния ассимиляционного аппарата, водного режима растений в условиях урбосреды изучены недостаточно, а без учета эколого-биологических характеристик растений не представляется возможным создание экологически эффективных насаждений города. Таким образом, в настоящее время назрела необходимость критического анализа

существующего ассортимента видов, используемых в озеленении г. Красноярска с учетом их количественного участия, жизненного состояния и устойчивости в условиях современной экологической обстановки города. До настоящего времени в городе еще не проводилось обследование зеленых насаждений разных категорий с оценкой характера роста и развития как местных, так и интродуцированных видов, устойчивости их к комплексу неблагоприятных факторов и перспективности использования в озеленении.

Цель работы – изучить воздействие урбанизированной среды на эколого-физиологические особенности некоторых видов древесных растений, для разработки рекомендаций по созданию устойчивых искусственных насаждений.

Задачи исследований:

1. Провести анализ видового состава, количественного участия, возрастной структуры и жизненного состояния древесных растений в искусственных насаждениях г. Красноярска.

2. Изучить особенности формирования ассимиляционного аппарата, морфоструктуры годичных побегов и показателей водного режима *Betula pendula*, *Padus maackii*, *Tilia cordata* и *Malus baccata* для установления их видовой специфики и выявления наиболее информативных показателей определяющих реакцию растений на техногенную среду.

3. Разработать практические рекомендации по подбору устойчивых древесных растений для формирования искусственных насаждений в урбанизированной среде (на примере г. Красноярска).

Научная новизна. Впервые проведен комплексный анализ насаждений г. Красноярска, включающий в себя оценку их видового состава, количественного участия, возрастной структуры и жизненного состояния. Установлено влияние условий произрастания на биометрические показатели годичных побегов и водоудерживающую способность листьев. Дана оценка устойчивости некоторых видов древесных растений на урбанизированных территориях и рекомендации по их использованию в насаждениях

различного функционального назначения. Построен биоиндикационный ряд изученных видов древесных растений по степени чувствительности к техногенной среде.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке системы оценки устойчивости, экологической пластичности и адаптивного потенциала древесных растений для обоснования их использования при создании искусственных насаждений различного назначения. Даны рекомендации по использованию *Betula pendula*, *Padus maackii*, *Tilia cordata* и *Malus baccata* в составе искусственных насаждений промышленных центров Сибири (на примере г. Красноярск).

Теоретические и прикладные результаты исследований используются в учебном процессе и научной работе ФГБОУ ВО «СибГУ им. М. Ф. Решетнева».

Методология и методы исследования. Работа базируется на комплексном подходе и многоаспектном анализе городских насаждений. Математическая обработка данных проведена с использованием стандартных пакетов прикладных программ MS Office Excel. Подтверждение сделанных выводов базируется на оценке достоверности статистических показателей.

Положения, выносимые на защиту:

1. Анализ видового состава, возрастной структуры и жизненного состояния искусственных насаждений г. Красноярск показал что, несмотря на широкий видовой ассортимент, сложившийся характер его использования в городском озеленении не способствует формированию устойчивых и высокодекоративных насаждений.

2. В условиях урбанизированной среды у *Betula pendula*, *Padus maackii*, *Tilia cordata* и *Malus baccata* снижается показатель жизненного состояния, уменьшается прирост годичных побегов, сокращается ассимиляционная поверхность и биомасса фотосинтезирующей ткани, нарушается водный режим, что приводит к снижению их устойчивости;

3. Определены эколого-физиологические показатели оценки состояния древесных растений на урбанизированных территориях, на основании которых, даны рекомендации по использованию изученных древесных растений в насаждениях различного функционального назначения.

Степень достоверности и апробации результатов. Степень достоверности полученных результатов обусловлена многолетними исследованиями, необходимым и достаточным объемом экспериментального материала, использованием современных средств статистического анализа и программного обеспечения. Основные положения и результаты диссертационных исследований апробированы на конференциях различного уровня: международных: Воронеж, 2010; Брянск, 2010; Томск, 2011; Красноярск, 2011, 2013, 2020, 2021; Киев, 2013; Волгоград, 2019; Екатеринбург, 2021; Москва, 2011; всероссийских: Красноярск, 2010, 2012, 2013, 2020; Екатеринбург, 2020; Новосибирск, 2020.

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 16 печатных работ, в том числе 5 статей в научных изданиях из перечня ВАК РФ, 1 работа в изданиях, индексируемых в международной базе цитирования Scopus.

Личный вклад. Автор принимал непосредственное участие в сборе материалов для экспериментальных исследований, их обработке, анализе, обобщении и интерпретации полученных результатов.

Структура и объем научной работы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения и приложений. Текстовая часть содержит 9 таблиц, 25 рисунков. Список использованных источников включает 292 наименования. Работа изложена на 173 страницах, содержит 2 приложения на 9 страницах.

1 ВЛИЯНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ НА ДРЕВЕСНЫЕ РАСТЕНИЯ В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ

1.1 Особенности урбанизированной среды

Города, общее число которых исчисляется десятками тысяч, в современном мире постепенно становятся основной формой расселения людей. Согласно данным Департамента ООН по экономическим и социальным вопросам в настоящее время численность городского населения составляет 4,2 млрд. (55 % мирового населения) и по прогнозам к 2050 году 68 % населения мира будет жить в городах (Пересмотр мировых перспектив..., 2020).

Современный город – это сложная, открытая, динамичная искусственно-естественная система, специфической особенностью которой является то, что она становится ощутимым фактором воздействия как на природные системы, так и на человека (Kasperidus, 2002; Напрасникова, 2011).

По большинству экологических параметров, а также специфике техногенного воздействия городская среда сильно отличается от естественной природной среды. Внутри города складывается свой особый местный климат (мезоклимат), отличный от условий загородных зон. Основываясь на исследованиях Оке (1982), можно выделить семь наиболее значимых факторов, влияющих на городской микроклимат:

1. Усиленное коротковолновое излучение (многократные отражения от фасадов зданий или от поверхности земли);
2. Усиленное длинноволновое излучение (в основном вызвано загрязнением воздуха);
3. Снижение потерь тепла длинноволнового излучения (геометрия «городского каньона» или аналогичных городских элементов, препятствующих высвобождению длинноволнового излучения);

4. Антропогенные источники тепла (от автотранспорта, ТЭЦ и др. промышленных предприятий);

5. Увеличение запаса тепла (использование строительных материалов, тротуарных материалов и т. д.);

6. Снижение испарения (сокращение численности водных объектов, растительности);

7. Снижение турбулентного переноса тепла (низкая скорость ветра и, как следствие, низкий уровень вентиляции в городских районах).

Перечисленные факторы в первую очередь определяют своеобразие мезоклимата города, его отличие от зонального климата и пространственную неоднородность (многообразие различных микроклиматов, формирующихся в промзонах, на отдельных улицах, кварталах, парках и пр.).

Работа промышленных предприятий, транспорта, отопительных и вентиляционных систем жилых массивов, а также дополнительные источники теплового излучения – искусственные покрытия улиц и площадей, крыши и стены зданий, приводят к выделению в атмосферу городов большого количества антропогенного тепла, в связи с чем, в крупных городах складывается особый температурный режим, характеризующийся повышенными температурами. Теплый воздух, поступающий в атмосферу, оформляется в виде купола, который на высоте 100-300 м ограничивается инверсией температур, в литературе это явление носит название «тепловой шапки». По этой причине температура воздуха летом в городе как в дневное, так и в ночное время в среднем на 0,5-5 °С выше в сравнении с пригородной зоной. В зимний период различие температур может достигать 10-14 °С, причем безморозный период в городах продолжительнее на несколько дней (Берлянд, Кондратьев, 1972; Ишерская, Фетисов, 1974; Чистякова, 1988; Безуглая и др. 1991; Горышина, 1991; Экологические проблемы..., 1998; Неверова, Колмогорова 2003; Курбатова и др., 2004; Бухарина и др., 2007, 2012).

Характер городской застройки и ее планировочные особенности приводят к ослаблению скорости ветра в условиях городов в среднем на 1-2 м/с (Покровская, Бычкова, 1967), или на 20-30 % (Берлянд, Кондратьев 1972) и усилению турбулентности воздушных потоков. Однако, при расположении города на холмах или при совпадении направления ветра и направления улиц возможно и усиление скорости ветра (Тетиор, 2008). Наличие своеобразного «острова тепла» над центром города вызывает конвективную циркуляцию воздуха, при котором воздушные массы в приземном слое всегда перемещаются от периферии к центру. Это приводит к ослаблению проветривания центральных районов города и аккумуляции вредных атмосферных примесей. Рассеивание «тепловой шапки» наблюдается при скоростях ветра более 7-9 м/с. (Заварина, Борисенко, 1974; Мазинг, 1984; Атмосферная турбулентность..., 1985; Владимиров и др., 1986; Глазунов, 2001; Неверова, Колмогорова, 2003, Бухарина и др., 2007). Ветровой режим приземного слоя воздуха в условиях городской застройки принято называть аэрационным режимом. Аэрационный режим считается комфортным, если скорости ветра на территории застройки находятся в пределах от 1 до 5 м/с (Чистякова, 1988). Участки городской территории, где скорость ветра меньше 1 м/с, относятся к непроветриваемым, а более 5 м/с - к зонам продувания. Н.В. Маслов (2002) выделяет отдельно комфортный аэрационный режим (скорость ветра от 1 до 3 м/с) и аэрационный режим, близкий к комфортному (скорость ветра от 3 до 5 м/с). Непроветриваемые участки городской территории (зоны застоя воздуха) создают антисанитарное состояние, в то время, как и зоны продувания дискомфортны для человека.

Влажность воздуха в крупных городах ниже по сравнению с окрестностями, особенно это заметно в летний период, а в течение суток – в вечерние часы, когда разница между городом и пригородом достигает 7-15 %, а в центре 20-25 %. В зимнее время воздух города может быть увлажнен за счет выбросов пара от техногенных источников.

Облака над городом располагаются значительно ниже, чем над открытой местностью. Увеличению облачности в городе способствуют повышенная конвективная неустойчивость и загрязнение воздушных масс, что в конечном итоге примерно на 10-15 % увеличивает частоту выпадения осадков. Однако большая часть осадков остается недоступной для растений, поскольку поступление воды в почву ограничивается строениями и покрытиями улиц, в результате чего большая часть осадков попадает в канализационные сети. Загрязнение атмосферы городов сказывается на химическом составе осадков, если рН природных осадков в среднем составляет 5,6, то в городе рН осадков варьирует от 3,9 до 9,4. Образование и повторяемость туманов в городах в 1,5-2 раза превышает пригородные зоны, особенно это актуально в зимнее время. (Берлянд, Кондратьев, 1972; Владимиров и др., 1986; Кислотные дожди, 1989; Горышина, 1991, Голицын, 2007).

Задымление и запыленность воздуха в городах приводят к уменьшению прозрачности атмосферы, особенно это усугубляется в безветренную погоду, когда над городом образуется аэрозольная дымка, или смог. Все это приводит к снижению поступления прямой солнечной радиации. В городах продолжительность солнечного сияния по сравнению с пригородом снижается на 500 ч (Geyer, 2002). Изменяется и спектральный состав света: в городе наблюдается «покраснение» солнечной радиации, поскольку загрязненной атмосферой особенно интенсивно поглощается коротковолновая ультрафиолетовая радиация – до 80 %. Ослабление наиболее активной в биологическом отношении радиации негативно сказывается на процессах жизнедеятельности, как человека, так и растений. Особенностью светового режима городских территорий является дополнительное освещение улиц в вечернее и ночное время, искусственно продлевающих световой день. Несмотря на то, что его интенсивность недостаточна, чтобы оказывать влияние на процесс фотосинтеза, это сказывается на фотопериодических реакциях растений и приводит к

нарушению естественных биологических ритмов поведения животных. Кроме того растения в городе часто испытывают прямое затенение из-за близко расположенных стен зданий (Горышина, 1991; Неверова, Колмогорова, 2003).

Значительной трансформации в урбосреде подвергаются городские почвы. Термин «городская почва» был введен Бокгеймом в 1974 году и подразумевает специфические почвы, сформированные в результате деятельности человека в городе (Bockheim, 1974).

Материнская порода городских почв представлена насыпными, намывными или перемешанными грунтами или культурным слоем. В верхних горизонтах почвы наблюдаются включения строительного и бытового мусора. Для урбаноземов свойственно переуплотнение корнеобитаемого слоя и недостаток почвенной влаги, что отрицательно сказывается на развитии почвенной микрофлоры, а также росте и развитии растений. Использование в зимний период противогололедных реагентов, приводит к искусственному засолению почвенного слоя, создавая условия «физиологической засухи» (Протопопова, 1972; Рохмистров, Иванова, 1985, Агаркова и др., 1991; Горышина, 1991; Башаревич и др. 1998; Шевченко и др., 2008; Соловьева, 2015; Фомина, 2015; Наместникова, Бузаева, 2019).

Асфальтовое покрытие, которое, как уже отмечалось выше, способствует стеканию атмосферных осадков в канализационную сеть, оказывает влияние и на температурный режим почвы. Вследствие высокой теплопроводности асфальтового покрытия годовой перепад температур в корнеобитаемом слое городских почв составляет 40-50 °С (в естественных условиях в пределах 20-25 °С). В жаркие летние дни температура слоя почвы под самым асфальтом может достигать до 50...55 °С, а зимой до -10...-13 °С, что создает опасность повреждения и отмирания корневой системы растений, поэтому зачастую самые верхние слои городских почв не содержат живых корней (Горышина, 1991; Горохов, 2005).

Ежегодное отчуждение растительного опада в городах (уборка опавших листьев, скашивание трав) приводит к тому, что многие химические элементы исключаются из почвы, и, как следствие, снижается ее плодородие. Изменению доступности элементов питания способствует и характерное для городских почв, подщелачивание (до pH 7,5). Для городских почв характерно повышенное содержание органического углерода, обусловленное, прежде всего, включением углеродсодержащих соединений промышленных и транспортных выбросов, поступающих в результате осаждения пыли (Рохмистров, Иванова, 1985; Баканина, 1990; Строганова, Агаркова, 1992; Зеликов, 1996; Хакимов и др., 1998; Природные комплексы, 2000; Александрова, 2001; Тригуб, 2011). Элементы питания растений и микроорганизмов, такие как калий, фосфор и азот в городских почвах распределяются неравномерно (Еремченко, 2010).

Для городских почв характерно загрязнение тяжелыми металлами. Индикаторами антропогенного загрязнения городских почв являются Pb, Zn, Cu, Sb и Hg. Поступление тяжелых металлов в почвенный покров определяет возможность дальнейшей их миграции в грунтовые воды, доступность растениям, создает потенциальную угрозу живым организмам, в том числе и человеку (Никифорова, Пазукова, 1991; Федорова и др., 2005; Водяницкий, 2012; Корельская, Попова, 2012; Фомина, 2015; Manta et al, 2002; Li, Huang, 2007).

1.2 Роль и функции древесных растений в городских насаждениях

Одним из основных факторов стабилизации экологической обстановки в городах является растительность. Растения, произрастающие в городских условиях, способствуют улучшению состояния воздушной среды и микроклимата городских территорий, снижают проявления отрицательного действия антропогенных факторов, обеспечивают население рекреационными ресурсами (Антипов, 1957; Илькун, 1971; Кулагин, 1974;

Николаевский, 1979, 1998, 2002; Протопопов, 1982; Протопопова, 1982; Горышина, 1991, Неверова, Колмогорова, 2003; Бухарина и др., 2010, 2012).

Исследования городского микроклимата свидетельствуют о положительном влиянии растительности на показатели температуры и влажности воздуха в городах (Краснощекова, 1987; Горышина, 1991; Lee and Park, 2008; Chen et al., 2014; Gago et al., 2013). Температура воздуха летом в скверах и на бульварах на 1,5-3 °С ниже, а относительная влажность на 2-8 % выше, чем на открытых площадях, в городских парках и лесопарках эта разница может достигать до 6,5-10 °С и 10-13 % (Горышина, 1991). Суммарная солнечная радиация под кронами отдельных видов деревьев почти в 9 раз ниже, чем на открытых пространствах. Это обусловлено, с одной стороны, высокой отражательной способностью зеленых насаждений в сравнении с грунтовыми и асфальтовыми покрытиями городских территорий, с другой – свойством растений поглощать тепловую энергию. В свою очередь, на степень поглощения тепловой энергии влияет прозрачность кроны, чем меньше размер отдельного листа в кроне дерева, тем больше тепла поглощает крона и эффективнее затенение пространства под ней (Неверова, Колмогорова, 2003).

Растительность способствует повышению ионизации воздуха, так содержание легких ионов в лесном воздухе составляет 2-3 тыс/см³, в городских садах и парках – 800-1200 тыс/см³, на незеленных территориях – 500 тыс/см³, для сравнения в закрытых помещениях – 25 -100 тыс/см³. Свойством улучшать ионный состав воздуха обладает большинство хвойных растений, а также различные виды ив, робиния, тополя черный и пирамидальный, рябина (Горышина, 1991; Экология крупного города, 2001).

Важнейшим свойством растений является их способность уменьшать бактериальную загрязненность воздуха, обогащая его различного рода фитонцидами (летучими веществами, проявляющими бактерицидные, фунгицидные и инсектицидные свойства) (Токин, 1987). 1 га зеленых лесонасаждений способен выделить до 30 кг фитонцидов, что достаточно для

стерилизации небольшого города (Мерзленко, 2004). Фитонциды листвы дуба и тополя убивают возбудителей дизентерии, пихтовой хвои – дифтерии, сосновой – туберкулеза. Летом 1 га лиственного леса выделяет за один день 2, хвойного – 5, можжевельного – 30 кг летучих веществ, губительных для организмов. Фитонцидные свойства растений и их проявления в разных метеорологических условиях следует учитывать при озеленении городских территорий, особенно мест массового отдыха, детских учреждений и пр. (Протопопов, 1975; Кучерявый, 1981; Горышина, 1991; Арустамов и др., 2001; Экология крупного города, 2001; Неверова, Колмогорова, 2003; Бабич, 2008; Biological..., 1996).

Высокая звукоотражающая способность листвы древесных растений (до 75 %) играет важную роль в снижении уровня городского шума. Растительность, в целом снижает шум в жилых и промышленных зонах города в 2-2,5 раза. Шумозащитные свойства зависят от характера посадок, времени года и вида древесных растений. Лиственные насаждения средней густоты и высотой 7-8 м снижают уровень шума на 10-15 дБ, полоса насаждений шириной 200-250 м – 35-45 дБ. Шахматное размещение деревьев совместно с кустарником снижают уровень шума на 3-4 дБ больше, чем при размещении растения рядами. В зимний период защитная функция снижается в 3-4 раза (Машинский, 1973; Горышина, 1991; Экология крупного города, 2001; Неверова, Колмогорова, 2003; Бухарина и др., 2007; Cohen et al., 2014).

Изменяя скорость и направление ветровых потоков, зеленые насаждения улучшают воздухообмен городских территорий. Днем движение воздуха происходит от зеленых насаждений - прохладный воздух освежает окружающую застройку, ночью – напротив, горячий воздух перемещается от перегретых поверхностей к зеленому массиву. Воздухообмен наблюдается при оптимальной плотности посадок, искусственно придавать требуемое направление и скорость потокам воздуха можно, применяя разные конструкции зеленых насаждений (Неверова, Колмогорова, 2003). Несколько рядов деревьев высотой не менее 10 м способны ослабить

скорость ветра на 50 %. Ветрозащитные свойства растительности зависят не только от конструкции насаждений, но и параметров отдельных деревьев – прочности древесины, наличия болезней, особенностей корневой системы и пр., которые определяют их ветроустойчивость (Кучерявый, 1981; Бухарина и др., 2007).

Зеленые насаждения улучшают городскую среду еще одним способом – работая как своеобразный живой фильтр, аккумулируя и обезвреживая самые различные ингредиенты промышленных выбросов (Сергейчик, 1984; Горышина, 1991; Фролов, 1998; Escobedo and Nowak, 2009; Janhall, 2015; Salmond et al., 2016; Air 2017).

Роль растений как пылевого фильтра исследовалась многими авторами (Красинский, 1950; Подзоров, 1967; Илькун, 1971; Кулагин, 1974, 1985; Николаевский, 1979, 1983, 2002; Чернышенко, 1996, 2001; 2012, 2018; Скрипальщикова, 1997; Tiwary и др., 2008; Weber и др., 2014; Łukowski и др., 2020). Показано, что зеленые насаждения способны задерживать до 60-70 % пыли, находящейся в воздухе. Большая часть пыли оседает на поверхности листьев, ветвей, стволов древесных растений, задерживается травостоем (Машинский, Залогина, 1978). В центре кроны осаждаются до 30 % всех частиц по сравнению с периферийной частью кроны (Dochinger, 1980). Городские зеленые насаждения шириной 5 м, примыкающие непосредственно к автомагистралям, задерживают 40-45 % всей выпавшей пыли, а при ширине 25 м – до 70 % (Fick и др., 1973). Запыленность в городском парке в летнее время снижается на 42, в зимнее - на 37 %, в сравнении с незелеными застроенными территориями (Кулагин, 1974). Отмечается, что широколиственные виды в городе осаждают до 30 %, хвойные - до 42 % общего количества пыли (Dochiger, 1980). Аккумуляция пыли зависит от многих факторов: высоты и плотности посадок, вида растений, морфологии листа и его физиологического состояния, характеристик самой пыли и метеорологических условий (ветровой режим, количество осадков и пр.) (Скрипальщикова, 1997; Чернышенко, 2002; Бухарина и др., 2007).

Максимальный пылеулавливающий эффект отмечается в насаждениях средней плотности (продуваемость 40-60 %) и вертикальной структуры, шириной 10-30 м (Чернышенко, 1996, 2002, 2012). Пылеулавливающая способность растений зависит также от свойств поверхности листа. Грубые, шероховатые и ворсистые поверхности обладают большей пылеулавливающей способностью в сравнении с гладкими. Удержанию пыли также способствуют гуттационные и смолистые выделения. Наиболее интенсивно процесс осаждения частиц пыли происходит в той части листа, вблизи которой формируется турбулентный пограничный слой (кончики и края листьев) (Чернышенко, 2002, 2012, 2018; Бухарина и др., 2007).

Благотворный эффект растительности оценен и в отношении фильтрации аэрозолей. В итоге комплексной оценки (Ландсберг, 1983) установлено, что одиночная посадка деревьев вдоль магистралей не эффективна для снижения отрицательных факторов. Однорядные посадки создают незначительный эффект изоляции – снижение выхлопных газов не превышает 20 % первоначальной концентрации на магистрали, в то время как двухрядная посадка снижает концентрацию выхлопных газов до 35 %, а четырехрядная – до 44 %. Кроме того магистральные посадки способствуют разделению транспортных потоков, что обеспечивает безопасность уличного движения.

Результаты многих исследований свидетельствуют о важной роли древесных растений в процессах детоксикации газообразных примесей из атмосферного воздуха (Илькун, 1971; Кулагин, 1974; Сергейчик, 1984; Гетко, 1989; Чернышенко, 2002; Николаевский, 2002; Павлов, 2006). Снижение концентраций токсических веществ в воздухе происходит не только за счет их рассеивания в верхние слои атмосферы, но и путем поглощения газов листьями через устьица и клеточные оболочки и дальнейшей их аккумуляции в органах и тканях растений. Растения могут усваивать и вовлекать в метаболизм диоксид серы, окислы азота, аммиак, ассимилируя их листьями подобно углекислому газу. В условиях повышенного содержания в

атмосфере этих газов в тканях происходит значительное увеличение содержания азота и серы (Попов, 1980; Чернышенко, 2002). Нужно отметить, что растения, как способ снижения уровня загрязнения атмосферного воздуха, можно рассматривать только как дополнительный и вспомогательный к основному способу – технологическому (фильтры, уловители) (Чернышенко, 2002).

Различные виды растений обладают разной газопоглонительной способностью, обусловленную с одной стороны концентрацией вредных веществ в воздухе, с другой – анатомо-морфологическим строением листа (наличием опушения, особенности внутреннего строения) и продолжительностью его жизни. Показано, что газоустойчивость растений коррелирует с высоким уровнем аккумуляции токсикантов в органах растений (Сергейчик, 1984). Однако некоторые виды растений, характеризующиеся низкой газопоглонительной способностью, являются высокоустойчивыми в условиях загрязненной среды. Очевидно, что наибольший средоулучшающий эффект проявляют растения, отличающиеся как высокой газопоглонительной способностью, так и устойчивостью к токсикантам (Сергейчик, 1984; Неверова, Колмогорова, 2003). По данным Н. В. Гетко (1989), в отношении серы устойчивыми видами (способными аккумулировать большое количество серы в листьях с минимальным повреждением) являются *Populus balsamifera*, *Populus laurifolia*, *Populus angulata*, *Populus suaveolens*, *Salix alba* и *Salix caprea*, *Abies concolor*, неустойчивыми – *Populus x canadensis*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*. Хроническое загрязнение воздуха азотсодержащими соединениями приводит к повышению содержания азотистых веществ у устойчивых видов: *Ligustrum vulgare*, *Elaeagnus angustifolia*, *Morus alba* (Тарабрин и др., 1986). Некоторые растения способны накапливать фенолы (*Robinia pseudoacacia*, *Sambucus racemosa*, *Morus alba*), аккумулировать соединения свинца (*Poa pratensis*, *Tanacetum vulgare*, *Potentilla anserina*) (Парибок, 1982; Горышина, 1991; Бухарина, 2007).

Одним из важных факторов, влияющих на поглотительную способность растений, являются показатели микроклимата. В оптимальных для фотосинтеза условиях (повышенная освещенность и влажность воздуха, температура +25-30 °С) поглощение вредных газов выражено лучше, и, напротив, в неблагоприятных для фотосинтеза условиях поглощение газов снижется (Чернышенко, 2002). Увлажнение поверхности растений приводит к увеличению скорости поглощения токсикантов до 10 раз, поскольку в сыром состоянии все части растения (листья, побеги, ветки, стебли) являются поглотителями (Неверова, Колмогорова, 2003).

Зеленые насаждения городов используются также для преодоления некоторых нежелательных явлений природы. Озеленение эффективно в борьбе с селевыми потоками и оползнями, в защите от снежных и песчаных бурь, в предотвращении эрозионных процессов в почвах и пр. (Неверова, Колмогорова, 2003).

Наряду с важными санитарно-гигиеническими и микроклиматическими функциями городских насаждений нельзя не отметить их роли в формировании архитектурно-ландшафтного облика города. Различное сочетание деревьев и кустарников, создание групповых и одиночных посадок придает городу объемный облик, подчеркивая его индивидуальные, своеобразные черты. Многообразие декоративных свойств древесных растений, применяемых в озеленении, позволяет разнообразить монотонность городского ландшафта, что благоприятно сказывается на психоэмоциональном состоянии населения. Кроме того, городские сады, парки, пригородные леса и прибрежные территории являются одними из наиболее привлекательных мест отдыха (Лунц, 1971; Протопопова, 1972, 1982, 1987; Ерохина, 1987; Горышина, 1991).

1.3 Адаптивные реакции растений под влиянием экологических факторов

Важнейшим механизмом, повышающим устойчивость организма к постоянно изменяющимся условиям среды, является их способность к адаптации. Адаптация — это генетически определенный процесс формирования защитных механизмов, которые обеспечивают повышение устойчивости и протекание онтогенеза в неблагоприятных для него условиях. Адаптивное значение имеют модификации, возникающие в пределах нормы реакции, именно они способствуют лучшей выживаемости организма при колебаниях факторов окружающей среды. Если повреждающее действие фактора превышает защитные возможности организма (т.е. действует выше пределов нормы реакции), то неминуемо наступает смерть (Кузнецов, 2001; Новикова, Зотиков, 2015)

Процесс адаптации растительного организма состоит из двух функционально различных этапов: стресс-реакции и специализированной (долговременной) адаптации. На этапе стресс-адаптации, за счет общих механизмов адаптации происходит переход растений от нормального метаболизма к стрессорному, способствующий кратковременной защите растений от гибели, а также запускается формирование или активация механизмов специализированной устойчивости. Долговременная адаптация, в свою очередь, способствует формированию специализированных механизмов, обеспечивающих «нормальное» протекание процессов жизнедеятельности организма в изменившихся условиях, тем самым повышающих его устойчивость (Кузнецов, 2001, Афанасьева, 2011).

Адаптация включает все процессы и преобразования, способствующие повышению устойчивости и выживанию вида (Новикова, Зотиков, 2015). Ю. З. Кулагин (1974), анализируя многолетние исследования по устойчивости растений к промышленному загрязнению, выделяет девять форм устойчивости, распределяя их по уровням организации (рисунок 1.1).

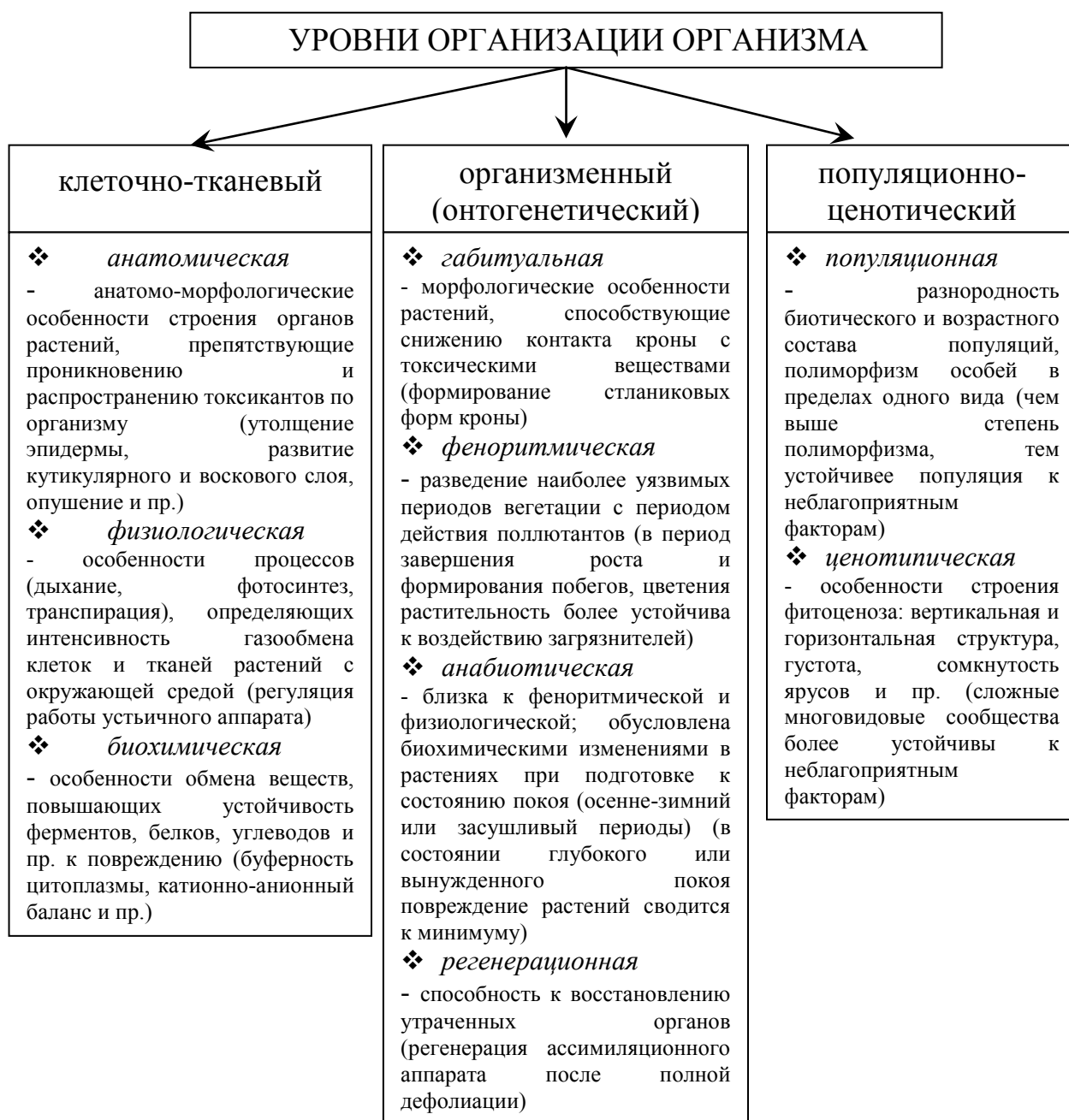


Рисунок 1.1 – Формы устойчивости растений к промышленному загрязнению на разных уровнях организации организма по Ю. З. Кулагину, 1974

Перечисленные формы устойчивости неразрывно связаны между собой, кроме того, чем выше уровень организации (клетка – ткань - орган – организм - популяция), тем большее число механизмов в совокупности обуславливают адаптацию организма к стрессу. Таким образом, популяционная форма устойчивости возникает благодаря изменениям,

протекающим на онтогенетическом и клеточно-тканевом уровнях, и предполагает наличие в популяции особей, различающихся по возрасту, жизненной форме, сезонному развитию, особенностям метаболических процессов и пр.

Растительность урбанизированных территорий, в сравнении с растительностью из естественных местообитаний, в отношении выработки адаптационных механизмов находятся в крайне невыгодном положении, им необходимо в достаточно короткие сроки выработать механизмы, обеспечивающие сохранение жизнеспособности. Несмотря на это, некоторые виды растений, благодаря особым чертам в строении и физиологии, способны проявлять повышенную устойчивость к комплексному действию неблагоприятных факторов (Кулагин, 1985; Горышина, 1991; Неверова, Колмогорова, 2003, Афанасьева, 2011).

В целом отмечается, что листопадные древесные растения более устойчивы к техногенезу, чем хвойные, ввиду их быстрого роста, способности обновлять фотосинтетический аппарат и устойчивости к засухе (Кулагин, 1985; Горышина, 1991).

Трансформация анатомической и морфологической структуры ассимиляционного аппарата в урбосреде является проявлением адаптационных реакций растительного организма. Для устойчивых видов характерно утолщение покровных тканей листа, снижение «проветриваемости» губчатого мезофилла, вследствие более плотного сложения внутренних тканей, увеличение числа устьиц на единицу площади листа при меньшей степени открытия устьичных щелей (Сергейчик, 1984; Чернышенко, 2002). Так, у хвойных пород, в частности различных видов сосен, с повышением уровня техногенной нагрузки наблюдается увеличение количества устьиц, числа и размеров смоляных каналов, толщины кутикулы (Кулагин, Зайцев, 2008; Соболева и др., 2009), у лиственных – происходит увеличение толщины листа за счет развития мезофилла, возрастает число устьиц и площадь жилок на 1 мм² листовой пластинки (Сергейчик, 1984;

Неверова, Колмогорова, 2003; Кулагин, 2006, Половникова, 2007; Сунцова, Иншаков, 2007).

Отмечаемое многими исследователями явление ксероморфоза листа, характерное для растений урбосреды, по мнению Ю. З. Кулагина (1985) является проявлением преадаптационных реакций растений. Минимизация развития ассимиляционных органов способствует меньшему поглощению токсикантов, и, следовательно, повышает устойчивость вида к техносреде (Николаевский, 1979; Горышина, 1991).

Устойчивость растений к негативному влиянию факторов внешней среды, в значительной мере определяется способностью клеток сопротивляться обезвоживанию. Показано (Хмелевская, 2008), что у растений, произрастающих в городской среде, наблюдается увеличение содержание связанной воды и водоудерживающей способности листьев, что свидетельствует об их большей приспособленности к негативным факторам урбосреды. Таким образом, одной из адаптивных реакций растений к обезвоживанию является повышение степени упорядоченности внутриклеточной воды (за счет увеличения фракции связанной воды) и увеличения водоудерживающей сил (Тарабрин, 1980; Гриненко, 1971; Хмелевская, 2008).

Важнейшим механизмом, направленным на восстановление нарушенного экстремальными условиями среды метаболизма и поддержание гомеостаза растительного организма, является действие системы антиоксидантной защиты (АОС). Среди многообразия компонентов, определяющих защитное действие АОС, особое место занимают низкомолекулярные метаболиты (аскорбиновая кислота, флавоноиды, каротиноиды, танины и пр.) и ферменты (пероксидаза, каталаза, полифенолоксидаза и пр.), обладающие антиоксидантными свойствами (Андреева, 1988; Барабой и др., 1992; Неверова, Колмогорова, 2003; Malhotra, 1976). По мере возрастания техногенной нагрузки у устойчивых видов отмечается увеличение содержания аскорбиновой кислоты, танинов,

каротиноидов, повышается активность ферментов – пероксидазы, каталазы и пр., что усиливает эффективность АОС и повышает устойчивость растений к действию поллютантов (Неверова, Колмогорова, 2003; Бухарина и др., 2007; Половникова, 2007; Савинцева, 2015).

Таким образом, окружающая среда каждого индустриального города имеет свои особенности экологических и антропогенных факторов, ограничивающих рост и развитие растительности. Познание закономерностей адаптации растений к их специфическому комплексу, позволит дать прогноз будущего существующих зеленых насаждений, а также наметить пути их оптимизации.

1.4 Состояние древесных растений в условиях урбанизированной среды

Растения урбанизированной среды, как отмечалось выше, имеют специфические условия произрастания, которые влияют на процессы их жизнедеятельности – фотосинтез, дыхание, водный режим, минеральное питание, рост и развитие. Растения аккумулируют чужеродные вещества двумя путями – через корни и листья. Ассимиляционный аппарат растений, вследствие его активного газообмена с окружающей средой, наиболее подвержен ее токсическому действию (Кулагин, 1974; Гетко, 1989; Неверова, Колмогорова, 2003, Kuzmin, 2020). Поллютанты при контакте с растениями связываются ими, растворяясь на внешней поверхности листа (если лист влажный и газ растворим в воде), или усваиваются через устьица (если поверхность листа сухая), вызывая физиолого-биохимические нарушения в клетке (Чернышенко, 2002; Неверова, Колмогорова, 2003).

Кислые газы вызывают трехфазный характер ответной реакции фотосинтеза: вначале отмечается его слабое подавление, затем – значительная активация, сменяемая вновь глубоким подавлением (Рябинин, 1965; Николаевский, 1979). Первым звеном на биохимическом уровне, на которое воздействуют токсиканты, являются хлоропласты. Аккумуляция

поллютантов в хлоропластах ведет к их деструкции, и как следствие распаду пигментного комплекса (Николаевский, 1979; Гетко, 1989). Отмечается, что высокие концентрации промышленных газов ингибируют пигментобразование и вызывают снижение количества хлорофилла *a* и каротиноидов. Однако характер ответной реакции пигментных комплексов регулируется многими составляющими и весьма специфичен. Например, рядом авторов отмечается, что хлорофилл *b* проявляет большую устойчивость по отношению к хлорофиллу *a* и каротиноидам (Николаевский, 1979; Сергейчик, 1984; Дончева-Бонева, 1996; Фролов, 1998). Другими исследователями показано, что под воздействием загрязнителей происходит снижение доли хлорофилла *b* в пигментных комплексах, которое выступает в качестве показателя работы фотосистем в стрессовых состояниях и свидетельствует о чувствительности хлорофилла *b* к воздействию поллютантов в большей степени, чем хлорофилла *a*. При этом отмечается существенное повышение вклада каротиноидов, что объясняется их защитной и вспомогательной ролью в функционировании фотосистем (Сунцова и др., 2014; Суслина и др. 2021). Изменения в содержании пигментного состава фотосинтезирующих растений, часто используют в качестве индикаторной реакции повреждения под действием атмосферного загрязнения (Николаевский, 1979; Сергейчик, Шахнович, 1988; Гетко, 1989; Сунцова и др., 2014; Суслина и др., 2021).

Промышленные газы вызывают у растений нарушение синтеза аскорбиновой и нуклеиновой кислот, белков, клетчатки и пр., активности ферментов, способности к образованию и выделению летучих органических веществ (Илькун, 1971; Горышина, 1991; Васфилов, 2003; Третьякова; Носкова, 2004).

Токсичные газы отрицательно действуют на растения, заметно снижая их засухостойчивость (Кулагин, 1974). Исследованиями установлено, что загрязнение мест произрастания растений вредными веществами вызывает нарушение водного обмена растений того же плана, что и засуха, и оба эти

фактора усугубляют друг друга (Тарабрин, 1980). По данным Г. М. Илькуна (1971), оводненность листьев растений, произрастающих в условиях загрязненного воздуха, обычно на 10-15 % ниже, по сравнению с листьями растений, произрастающих в чистой атмосфере. При действии вредных газов происходит изменение интенсивности транспирации. В зависимости от концентрации, степени токсичности и продолжительности действия поллютантов могут быть выделены следующие стадии депрессии транспирации. Первоначально наблюдается уменьшение транспирации, затем следует период ее значительного усиления, обусловленный нарушением функциональной роли и структуры клеточных оболочек, проницаемости плазмолеммы и водоудерживающей способности протоплазмы. Нарушение структуры оболочек способствуют неконтролируемому испарению воды и, вместе с тем, нарушается транспорт ее к другим клеткам. В итоге наступает фаза глубокого угнетения транспирации (Кулагин, 1974; Илькун, 1978; Горышина, 1991; Хмелевская, 2008).

На физиологические процессы организма растений существенное влияние оказывает фактор запыленности. Установлено, что осевшая на листьях пыль экранирует лист, снижая на 5-14 % поступление к пигментам фотосинтетически активной радиации, и, наоборот, повышая на 25-33 % поглощение теплового излучения. Это приводит к подъему температуры листовой пластинки на 1-1,5 °С, лист перегревается, и как следствие, увеличивается интенсивность транспирации, а продуктивность фотосинтеза, напротив, снижается. Растворение пыли на поверхности листа и проникновение ее в внутренние ткани организма, вызывает химическое повреждение листовой пластинки (Илькун, 1971; Неверова, 2001).

Еще одним фактором, влияющим на метаболизм растений, являются металлы, поступающие в растение, как через надземные, так и подземные органы. Одни из них являются биогенными элементами (Fe, Mn, Cu, Zn) и используются в процессах жизнедеятельности растения, другие - тяжелыми

металлами, многие из которых являются токсичными элементами. Отмечается (Неверова, Колмогорова, 2003), что и определенные концентрации биогенных элементов обладают токсическим действием. Токсичными свойствами, в случае их аккумуляции растениями, обладают Co, Cr, Cu, Pb, Zn, Cd, Hg (Барахтенова, 1993; Мотылева, Соснина, 1996; Шатохина, Христенко, 1998). Токсичность тяжелых металлов связана с их физико-химическими свойствами, обусловленной способностью к образованию прочных соединений с рядом функциональных группировок на поверхности и внутри клеток, приводящей к нарушению: функционирования ферментных систем, баланса элементов питания в растении, проницаемости мембран (Wallace, 1979).

Описанные изменения физиолого-биохимических процессов, в конечном итоге отражаются на внешнем облике растений, строении его отдельных органов (Горышина, 1991).

Городские деревья зачастую имеют более редкие кроны, короткие побеги, мелкие листья. Происходят изменения анатомо-морфологической структуры листа: увеличивается плотность сложения клеток листа, мощность покровных тканей, количество устьиц на единицу поверхности листа. Такие изменения структуры листа в литературе трактуются как явление ксероморфоза (Лайранд, Савенкова, 1974; Горышина, 1991; Николаевский, 1998, 2002; Неверова, Колмогорова, 2003). В конечном итоге, нарушение развития ассимиляционного аппарата приводит к подавлению интенсивности радиального и линейного прироста растений (Рожков, Соколов, 1980; Ярмишко, 1996). Токсиканты могут служить причиной изменений в росте и ветвлении побегов древесных растений, в результате возникают уродливые формы роста, получивших название «габитус загрязнения» (Горышина, 1991).

Под воздействием высоких концентраций поллютантов в сочетании с жесткими микроклиматическими условиями возникают «видимые» повреждения ассимиляционного аппарата – изменение окраски,

некротические пятна, вздутия, скручивание и засыхание листьев. Это приводит к сокращению продолжительности жизни листа, ускоряя процессы усыхания ветвей в кронах деревьев (Горышина, 1991; Неверова, Коломогорова, 2003; Сарбаева, 2005).

Изменения формы растения в городских условиях происходят и в его подземных органах. Показано, что рост дерева на краю газона вблизи асфальта приводит к формированию ассиметричной корневой системы. В сторону газона устремляются более длинные, хорошо разветвленные и поверхностные корни, с противоположной стороны корни в основном идут вглубь, ветвление корней ограничивается асфальтом. Кроме того, у древесных растений в городе угнетено развитие мелких корней (Горышина, 1991). Кроме того, специфика городских почв обуславливает недостаточное развитие микоризы на корнях, а также обеднение состава и снижение численности грибов-симбионтов (Danielson, Pruden, 1989).

Репродуктивная система древесных растений, в частности хвойных пород, весьма чувствительна к загрязнению атмосферы. Высокие концентрации загрязнителей, наряду с неблагоприятными погодными условиями, недостатком минеральных веществ, а также видовой спецификой растений могут приводить к недоразвитию пыльцы в пыльниках, замедлить прорастание пыльцы, рост пыльцевых трубок вплоть до полной их остановки, приводя к потере жизнеспособности половых клеток (Ставрова, 1990; Горышина, 1991; Бессонова, 1992; Третьякова и др., 2001; Третьякова, Носкова, 2004; Keller, Benda, 1984). Нарушение роста пыльцевых трубок у сосны обыкновенной, приводит к снижению количества семян в расчете на одну шишку и доли полнозернистых семян в городских насаждениях (Калманова, 2008). Атмосферные загрязнители, кроме влияния на семеношение *Pinus sylvestris*, серьезное влияние оказывают на прорастание семян и формирование подроста (Ярмишко, 1999). В исследованиях Зенковой Е. Л. и Казанцевой М. Н. (2008) отмечается, что у семян *Pinus sylvestris*, собранных в урбосреде, наблюдаются более низкие

показатели всхожести и энергии прорастания, а также меньшие размеры корней проростков в сравнении с семенами из пригородных участков.

Под воздействием техногенной нагрузки происходят изменения в сезонном ритме древесных растений: ускоряются начальные фазы распускания почек и облиствения побегов, сдвигаются сроки наступления цветения и листопада, увеличивается продолжительность вегетационного периода. Это обусловлено с одной стороны специфическими микроклиматическими условиями урбосреды (высокие температуры, дополнительное освещение и пр.), с другой – ее техногенным загрязнением. Поллютанты, проникая в клетку даже в период покоя, нарушают естественные физиологические процессы этого периода, вызывая сокращение его глубины и сроков, что способствует ускорению процессов старения растений (Гудериан, 1979; Сергейчик, 1984; Тарабрин и др., 1986; Николаевский, 2002; Ведерников, 2008; Козик и др., 2009).

Ослабленные деревья в городских насаждениях являются отличным субстратом для заселения различными энтомо- и фитовредителями, что еще больше усугубляет их состояние, и в некоторых случаях приводит к их гибели (Экология крупного города, 2001; Яновский, 2002; Неверова, Колмогорова, 2003; Рунова, Ворошилова, 2005).

Все изменения, происходящие в растительном организме под воздействием урбосреды, в конечном итоге приводят к снижению продолжительности их жизни. Показано, что в подмосковных лесах липа доживает до 300-400 лет, ясень - до 250-300 лет, а в московских парках - соответственно до 125-150 и 60—80, в уличных посадках – всего до 50-80 и 40-50 лет. Считается, что максимум долговечности деревьев в городе составляет 200 лет (Горышина, 1991; Николаевский, 2002).

Таким образом, своеобразие изменения основных факторов урбанизированной среды, ухудшение городских почв и загрязнение воздуха отражается на всех уровнях организации растительного организма. Первоначально изменения происходят на клеточном уровне - нарушаются

метаболизм и биохимические процессы растений. Затем наблюдаются изменения анатомо-морфологической структуры растений (тканевый и органогенный уровни организации), позже - трансформация на организменном и популяционного-видовом уровнях организации, конечным итогом которой является снижение обилия вида, либо его полное выпадение из растительного покрова (Морозова и др., 2003; Бухарина и др., 2007).

Отмечается, что характер и масштаб изменений во многом определяется эколого-биологическими особенностями и физиологическим состоянием растений, а также силой, продолжительностью, компонентным составом действующих внешних факторов и совокупностью их действия (Антипов, 1957; Илькун, 1971; Кулагин, 1974; Сергейчик, 1984; Чернышенко, 2002).

Особенно актуальную направленность в последние десятилетия получили исследования по устойчивости растений в городских условиях с целью подбора ассортимента для озеленения урбанизированных территорий. Для г. Ижевска был изучен видовой состав и дана оценка состояния некоторых доминантных видов (Бухарина, 2007; 2012). Отмечено, что насаждения города отличаются низкими средообразующими возможностями и неспособностью обеспечить экологически благоприятное качество жизни. Авторами установлено, что общими чертами адаптивных реакций древесных растений в урбанизированной среде Предуралья являются изменения продолжительности периодов развития, роста и формирования морфологических структур годичного побега; возрастание водоудерживающей способности листьев, перераспределение баланса основных элементов минерального питания, что предопределяет необходимость дифференцированного подхода к подбору ассортимента древесных растений для создания различных категорий насаждений. На основании проведенных исследований авторы рекомендуют для магистральных посадок использовать *Malus baccata*, *Populus balsamifera* и

Caragana arborescens; в санитарно-защитных зонах промышленных предприятий – дополнительно *Betula pendula*, *Acer negundo* и *Picea pungens*.

В работе Неверовой О. А, Колмогоровой Е. Ю. (2003) было установлено, что у *Betula pendula*, *Sorbus sibirica*, *Syringa vulgaris*, *Tilia cordata*, *Picea obovata*, *Pinus sylvestris* в техногенной среде г. Кемерово изменяется структура, форма и размеры кроны, что в свою очередь влечет снижение фотосинтезирующей поверхности и декоративности. Оценка устойчивости основного ассортимента показала, что в озеленении магистралей и районов с высокой техногенной нагрузкой нецелесообразно использовать *Pinus sylvestris*, *Tilia cordata*, и *Syringa vulgaris*.

Оценка состояния древесных растений и городских насаждений г. Владивостока (Полякова, 2004) показала, что более 80 % зеленых насаждений на территории селитебной зоны города относятся к категории «сильно поврежденные». Самыми низкими показателями жизненного состояния характеризуются *Padus maackii*, *Populus koreana* и *P. nigra*, а наиболее высокими - *Fraxinus pennsylvanica*, *F. rhynchophylla* и *F. mandshurica*. Установлено, что жизнеспособность видов зависит от их возрастного состояния и типа насаждений. Автор отмечает, что необходимо дифференцированно подходить к подбору видов для озеленения городских территорий в зависимости от уровня техногенных нагрузок. Так, *Malus baccata*, *M. mandshurica*, *Picea ajanensis*, *Padus maackii*, характеризующиеся в городских посадках г. Владивостока низкой жизнеспособностью не рекомендуется использовать в «неудовлетворительных условиях роста древесных растений». Виды, проявляющие высокую жизнеспособность, такие как *Thuja occidentalis*, *Aesculus hippocastanum*, *Pinus strobus*, *Acer platanooides*, *Populus sowietica pyramidalis*, следует активно вводить в состав искусственных насаждений г. Владивостока.

Разнообразить видовой состав озеленительных посадок г. Хабаровска за счет *Larix gmelinii*, *Quercus mongolica*, *Tilia amurensis*, *Betula dahurica* рекомендует Сомов Е. В. с соавторами, на основании изучения их состояния

и возрастной структуры (Ким, Сомов, 2017; Сомов, 2019; Сомов, Пархацкая, 2019; Корнеева, Сомов, 2020).

Зеленые насаждения г. Красноярска привлекали внимание многих исследователей. Вопросами инвентаризации городских насаждений с применением материалов видеосъемки и ГИС-технологий занимались Артемьев О. С. (Артемьев, 1995, 1998, 1999) и Россинина А. А. (Россинина, 2010), однако, их работы затрагивали зеленые насаждения только центральной части Красноярска.

Изучению закономерностей развития и индикаторной роли древесных растений, посвящены исследования Авдеевой Е.В. (2000, 2006, 2007). Ею показано, что городские условия оказывают значительное воздействие на рост и развитие древесных растений, что отражается в изменениях хода онтогенеза, трансформации формы, размеров и фитонасыщенности крон у *Larix sibirica*, *Betula pendula*, *Tilia cordata* и *Picea obovata*. Автор отмечает, что увеличение техногенных нагрузок ускоряет процессы старения деревьев, однако реакции древесных растений на стрессовые воздействия городской среды имеют видовые особенности. Например, деревья *Picea obovata* не выдерживают воздействий критических нагрузок городской среды, что приводит к преждевременной гибели деревьев в возрасте 25 - 30 лет. Среди изученных видов древесных растений наибольшая амплитуда изменения значений показателей роста наблюдалась у *Larix sibirica*, что позволило автору рекомендовать ее в качестве дендроиндикатора.

Вопросам роста и развития хвойных пород в урбосреде Красноярска посвящены работы Панова А. И. (2021) и Извекова А. А. (2021), где даны практические рекомендации по использованию *Pinus sylvestris*, *Picea obovata* и *Picea pungens* озеленении города.

И. Н. Павлов (2006) в своей монографии обобщил данные о влиянии Братского и Красноярского алюминиевых заводов на рост и состояние древесных растений.

Проведены исследования физических и биохимических показателей листьев (накопление пыли на листовых пластинках; фенольных соединений, сырой золы, свинца) *Populus nigra*, *Acer tataricum*, *Betula pendula* в различных районах города, на основании которых установлено, что изученные показатели показывают взаимосвязь с уровнем антропогенного загрязнения. Так, из изученных видов, *Populus nigra* отличается хорошими пылеулавливающими свойствами, а высокое содержание зольных элементов и фенольных соединений позволяют автору рекомендовать данный вид для целей биоиндикации (Демиденко, 2021).

Особенно остро стоит задача изучения механизмов газоустойчивости с целью подбора газоустойчивого видового состава растений для озеленения г. Красноярска. Решение этой задачи возможно только после проведения соответствующих исследований над древесными растениями, учитывая специфические экологические и физико-географические условия функциональных зон города. В этом направлении следует отметить работы по изучению влияния техногенной среды на функционально-структурные особенности различных видов древесных растений в условиях города Красноярска, в которых на примере местных и интродуцированных видов древесных растений было показано, что размер и количество устьиц на 1 мм² листовой поверхности, динамика их открытости в различное время суток, водоудерживающая способность срезанных листьев и динамика накопления органического вещества вегетативными органами растений могут служить достоверными показателями газоустойчивости исследованных видов древесных пород (Сунцова, Иншаков, 2007; Пирогова и др., 2009). Изучению адаптационных процессов у *Picea abovata* произрастающей в магистральных посадках г. Красноярска посвящена работа (Донцов и др., 2014), где выявлены отличия в биометрических показателях состояния насаждений, интенсивности фотосинтеза и пигментного состава хвои, связанные с условиями произрастания. Связь динамики содержания пигментов в листьях древесных растений со степенью загрязнения и возможность использования

этого показателя в целях фитоиндикации обсуждается в ряде работ (Параскевопуло и др., 2017; Сунцова, Иншаков, 2018).

Методы биоиндикации и биотестирования для контроля состояния окружающей среды Красноярска с использованием древесных растений рассмотрены в работах Григорьева Ю. С. с соавторами (1999, 2019), Сотниковой О. В. и Степень Р. А. (2001), Есяковой О. А с соавторами (2008, 2011).

Для изучения устойчивости интродуцированных видов в урбосреде г. Красноярска проводились наблюдения за сезонным циклом развития отдельных видов. На основании изучения особенностей сезонного развития некоторых представителей флоры Европы и Дальнего Востока, установлено, что наиболее зимостойкими и устойчивыми к техногенному загрязнению видами являются *Acer tataricum*, *Padus maackii*, *Syringa josikaea*, *Syringa vulgaris*, *Berberis amurensis* и *Ulmus pumila* (Козик и др., 2009). В результате фенонаблюдений за сезонным развитием *Tilia cordata* (Вараксин, Кладько, 2010), установлено, что вид в условиях г. Красноярска проходит полный нормальный цикл сезонного роста и развития, что позволяет судить о его успешной акклиматизации и рекомендовать для широкого использования в городских посадках, в том числе и в озеленении улиц.

На основании изучения радиального прироста *Pinus sylvestris*, *Picea pungens*, *Betula pendula*, *Ulmus pumila*, *Populus balsamifera*, *Sorbus aucuparia*, *Padus maackii*, *Malus baccata* (Кладько, Бенькова, 2018), установлено, что *Betula pendula* Roth.. в промышленных районах г. Красноярска долго адаптируются и быстро «стареет», а в магистральных посадках растет хорошо. *Ulmus pumila*, *Padus maackii*, *Malus baccata* на загрязненных территориях имеют низкий прирост, который резко снижается после ювенильного периода, что свидетельствует высокой чувствительности данных видов к условиям произрастания. *Pinus sylvestris* рекомендуется высаживать в чистых или условно чистых районах, ввиду ее особой чувствительности к техногенному загрязнению. Для широкого

использования в озеленительных посадках разного уровня техногенной нагрузки авторы рекомендуют *Populus balsamifera*, *Sorbus aucuparia*, *Picea pungens*, ввиду способности к стабилизации радиального прироста в городской среде.

Несмотря на большое количество проведенных исследований, до сих пор отсутствует современный анализ структуры насаждений г. Красноярска, с выявлением видового состава, количественного участия, возрастной структуры и жизненного состояния древесных растений в различных категориях городских посадок. Для создания устойчивых насаждений требуется всестороннее изучение характера роста и развития древесных растений в современных условиях городской среды. Это позволит оценить их адаптационные возможности и функциональный вклад в оптимизацию структуры искусственных насаждений г. Красноярска. Исследования по изучению адаптационной способности некоторых видов древесных растений, относящихся к местной и инорайонной флоре, используемой в озеленении города Красноярска, позволят положить их в основу практических рекомендаций по озеленению крупных промышленных центров Сибири.

Выводы по главе:

1. Для урбанизированных территорий характерно значительное изменение условий существования в неблагоприятную для живых организмов сторону: формируются специфические микроклиматические и экологические условия отдельных городских территорий, значительной трансформации подвергаются почвы.

2. Зеленые насаждения играют важнейшую роль в формировании благоприятной и комфортной урбосреды. Однако специфика городских условий может свести к минимуму все положительные эффекты растительности, поэтому озеленение урбанизированных территорий должно вестись с учетом соответствия биологических особенностей древесных растений экологическим условиям среды, в которую они вводятся. Только в

этом случае они могут значительно улучшить санитарно-гигиеническую и эстетическую среду города.

3. Благодаря различным морфологическим особенностям и физиологическим свойствам древесные растения обладают определенным уровнем адаптационного потенциала, обеспечивающего приспособляемость растений к экстремальным условиям среды и характеризующим их устойчивость в экстремальных условиях.

4. Познание механизмов адаптации древесных растений необходимо для разработки мероприятий по созданию устойчивых искусственных насаждений, обладающих высокими санитарно-гигиеническими и эстетическими функциями.

2 ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

2.1 Природно-климатические условия

Красноярск находится в центральной части Средней Сибири, на стыке трех геоморфологических стран: Западно-Сибирской равнины, Средне-Сибирского плоскогорья и Алтае-Саянской горной страны, в котловине, образованной самыми северными отрогами Восточного Саяна.

Северо-западная часть города располагается на стыке Западно-Сибирской низменности и предгорной равнины Восточного Саяна, в пределах Красноярской предгорной равнины, по восточной окраине которой проходит долина реки Енисей. Рельеф территории, расположенной на Средне-Сибирском плоскогорье, отличается сглаженностью широких водораздельных пространств. Южная часть города входит в состав природной провинции Саянских гор и межгорных котловин Алтае-Саянской горной страны, которая состоит из плосковершинных нагорий и хребтов (Средняя Сибирь, 1964).

Значительную часть площади Красноярска занимает простирающаяся с запада на восток река Енисей, разделяющая город на две части – левобережную и правобережную. Протяженность Енисея в черте города составляет около 30 км, ширина русла колеблется в пределах 300-750 м, глубина в отдельных местах достигает 6 м. Долина реки играет важную роль в формировании ландшафтных особенностей Красноярска. Нижняя часть поймы Енисея представляет собой ступенчатую равнину сложного строения, в верхней части – крутые, сильно изрезанные склоны долины сменяются более пологими, с плавными очертаниями. В поперечном профиле долины Енисея выделяются девять террас. Террасы левобережной части города ограничены плато: с севера – Караульной горой (высота до 100 м), с запада – лесистой Гремячинской гривой (высота около 240 м). На правом берегу долину окаймляют предгорья Восточного Саяна и Куйсумские горы (высота

400-700 м). Основными притоками Енисея в левобережной части являются реки Караульная, Крутенькая, Пионерская и Кача, в правобережье – Большая Слизнева, Быкова, Лалетина, Базаиха и Черемуховка. Самой крупной является река Кача, устье которой находится в центре левобережья, ниже него русло Енисея разветвляется островами на протоки. Наиболее крупные острова — Отдыха, Молокова, Татышева, Атаманова. Выше города река перекрыта плотиной Красноярской ГЭС и сток ее полностью зарегулирован, что совершенно изменило его естественный гидрологический режим (Климат Красноярска, 1982).

Растительный покров Красноярска представлен тремя зонально-поясными экосистемами. Правобережье Красноярска – это зона таежных и подтаежных лесов, левобережье – типичная лесостепь. Ввиду расположения Красноярска на стыке трех физико-географических стран, перечисленные зональные ландшафты имеют переходные черты.

Лесостепи приурочены к нижней высотной ступени и занимают почти всю территорию всхолмленной равнины. Пространственное сочетание участков луговых и настоящих степей с небольшими массивами березовых и сосновых лесов образуют зональные лесостепные комплексы. Степи в настоящее время практически полностью распаханы. Крутые склоны гор по рекам Енисей, Кача, Есауловка покрывают небольшие участки каменистых степей. Для пониженных элементов ландшафта характерны травянистые группировки из степных и горно-степных видов, заросли кустарников и редкие березняки.

В предгорьях и низкогорьях Восточного Саяна, на Кемчуговской возвышенности проходит зона подтаежных лесных экосистем, которая представлена сосновыми, реже лиственничными, березовыми или осиновыми лесами. Подтаежные леса отличаются высокой производительностью, однако в результате хозяйственной деятельности (вырубка, хозяйственное освоение и пр.) в настоящее время их площади значительно сокращены.

Растительность горной части окрестностей города — таежная, и представлена *Pinus silvestris*, *Abies sibirica*, *Populus tremula*, *Larix sibirica*, *Pinus sibirica* (Климат Красноярска, 1982; Авдеева, 2007).

Преобладающее распространение в почвенном покрове занимают черноземный тип почв, встречаются также серые лесные, дерново-намытые, пойменные и лугово-черноземные почвы (Климат Красноярска, 1982). На плоских широких водоразделах, под елово-сосновыми лесами формируются подзолистые почвы, в верхних частях узких водоразделов — серые лесные почвы (Ерохина, 1961). На террасах Енисея почвообразующими породами являются суглинки, на правом берегу, в пределах Средне-Сибирского плоскогорья, — щебенистые глины и суглинки, бурые глины, суглинки, супеси. Повсеместно преобладают почвы средней мощности 20 – 60 см. В целом почвенный покров характеризуется довольно высоким плодородием и благоприятен для произрастания лесной растительности (Кирилов, 1988).

Расположение Красноярска почти в центре Азиатского материка и удаленность его от морей и океанов обуславливают его климатические особенности. Согласно классификации Б. П. Алисова, основанной на делении на климатические зоны по циркуляционным факторам, Красноярск находится в зоне умеренного климата с резко выраженной континентальностью, который характеризуется продолжительной малоснежной зимой, коротким теплым летом, короткой сухой весной с поздними возвратами холодов (заморозками), непродолжительной осенью с ранними заморозками и частыми возвратами тепла. Континентальность климата в черте города несколько смягчается влиянием незамерзающего Енисея и Красноярского водохранилища (Климат Красноярска, 1982).

Большая часть года проходит под влиянием циклонической формы циркуляции. Чаще всего в районы Красноярска поступают массы континентального полярного воздуха, реже — арктического, еще реже, преимущественно в теплое время года, — тропического. В зимний период условия погоды в Красноярске зависят от местоположения и интенсивности

сибирского антициклона, под действием которого в городе на длительное время устанавливается ясная тихая холодная погода. Расположение центральной части города в котловине, способствует скоплению здесь холодного воздуха и сильному охлаждению поверхностей, что, в свою очередь, приводит к образованию над котловиной мощных инверсий, в результате минимальная температура в центральной части в среднем на 2-3 °С ниже, чем на периферии. Когда преобладает циклоническая деятельность, зимы преимущественно теплые.

Для Красноярска характерно постоянство ветрового режима в течение всего года, обусловленное, прежде всего, условиями орографии. Направление долины Енисея в черте города совпадает с преобладающим направлением ветра, что способствует проветриванию территории. Зимой и осенью преобладающее направление ветра – юго-западное, весной и летом – западное. Однако городская застройка способствует перераспределению воздушных потоков, ветер отклоняется от своего естественного направления и дует вдоль длинных уличных магистралей.

Средняя годовая скорость ветра в Красноярске составляет 3,7 м/с, с максимумом в апреле – 4,9 м/с. Увеличение скорости ветра наблюдается в периоды усиленной циклонической активности – апрель, май, октябрь, ноябрь. В период прохождения циклонов скорость ветра может достигать 8-11 м/с, с порывами до 30 м/с. Сильные ветры со скоростью 15 м/с и более, наблюдаются в Красноярске в течение всего года, чаще в зимнее время и переходные периоды. Минимальные значения скорости ветра - 2,5-2,7 м/с - отмечаются летом, в июле и августе, в период ослабления деятельности циклонов. Часто в эти месяцы наблюдаются слабые ветры, скорость которых 0-1 м/с.

Континентальность климата выражена большой годовой (38 °С по средним месячным значениям) и суточной (12-14 °С) амплитудой колебаний температур (Климат Красноярска, 1982). В Красноярске наблюдается тенденция к росту средней годовой температуры воздуха. Средняя годовая

температура воздуха в Красноярске по данным за период 1881-1980 гг. составляла 0,5-0,6 °С (Климат Красноярска, 1982; Справочник по климату..., 1990;), а за период 1891-2020 она составила 0,9 °С (Погода и климат, 2022).

Самый холодный месяц года – январь, средняя температура которого составляет –15,6 °С (Погода и климат, 2022). В зависимости от режима циркуляции, в отдельные годы, средняя месячная температура января может быть выше, чем в феврале. В зимний период в Красноярске часто наблюдаются оттепели (чаще в марте и ноябре, реже в январе).

Переход температуры через 5 °С наблюдается в конце апреля. В мае продолжается интенсивный рост температур, но неожиданные вторжения арктического воздуха могут вызвать заморозки (Климат Красноярска, 1982).

Самый жаркий месяц — июль, его средняя температура 18,5 °С. В июле температура выше 15 °С в среднем сохраняется в течение 26 дней, из них 10 дней – выше 20 °С. С августа начинается понижение температуры воздуха, и к началу первой декады октября она переходит через 0 °С к отрицательным значениям.

Стоит отметить, что температуры значительно изменяются от года к году, от месяца к месяцу, от одного дня к другому и даже в течении суток. Отрицательные отклонения средних месячных температур больше положительных (Климат Красноярска, 1982; Погода и климат, 2022).

Годовой ход температуры почвы аналогичен годовому ходу температуры воздуха. С ноября по март температура поверхности почвы носит отрицательные значения, с апреля по октябрь – положительные. Средняя годовая температура поверхности почвы равна 2 °С. Глубина промерзания почвы в среднем составляет 175 см, в малоснежные зимы – до 253 см.

Малая облачность и продолжительный летний день обуславливают немаловажную особенность Красноярска – обилие солнечной радиации. При сравнительно коротком безморозном периоде (в среднем 120 дней) суммы положительных температур велики – 1875 °С.

Относительная влажность воздуха в городе составляет в среднем за год 69 %. Наименьшее значение относительной влажности воздуха отмечается в апреле-июне – 53-62 %, обусловленное быстрым прогреванием приземных слоев воздуха и небольшим количеством осадков. С ноября по февраль значение относительной влажности составляет 71-72 % и практически не изменяется.

Годовое количество осадков в Красноярске составляет 316 мм (по данным за период 1914-1975 гг.) (Климат Красноярска, 1982) и также имеет тенденцию к увеличению. За период с 1914-2020 гг. годовое количество осадков в Красноярске возросло до 466 мм (Погода и климат, 2022). В холодный период, с ноября по март, преимущественно выпадают твердые осадки (снег, крупа), в теплый период – апрель-октябрь – преобладают жидкие осадки. Смешанные осадки (снег с дождем, мокрый снег, ледяной дождь), характерны для переходных периодов - март, апрель, октябрь, ноябрь.

Распределение осадков по месяцам и сезонам в отдельные годы значительно варьирует. Наибольшее количество осадков выпадает летом – 63 % от общего количества (в июле – 22 %, в августе – 19 %), часто они сопровождаются грозами и иногда градом. В осенний период количество осадков по сравнению с летним уменьшается, но увеличивается их продолжительность. Самое низкое количество осадков приходится на зимний период – около 13 %, что обусловлено низкими температурами и малым влагосодержанием воздуха. Однако для зимы характерно самое большое число дней с осадками в году и наибольшая их продолжительность. Сумма осадков весной составляет 22 % от годовой, максимум приходится на май (около 60 % от весеннего периода), чаще осадки этого сезона сопровождаются грозами (Климат Красноярска, 1982).

Снежный покров в Красноярске появляется к середине октября и очень редко устанавливается сразу. Средняя многолетняя дата образования снежного покрова – 4 ноября, однако она очень изменчива, в 75 % лет

устойчивый снежный покров бывает к 10 ноября. Мощность снежного покрова, после его установления, постепенно увеличивается: к концу октября она составляет 6-12 см, в конце декабря - около 30 см, со средним максимумом в первой-второй декадах марта – 40 см.

С третьей декады марта высота снежного покрова начинает уменьшаться. Средняя дата разрушения устойчивого снежного покрова – 4 апреля, но возможны колебания. В отдельные годы временные возвраты холодов весной сопровождаются снегопадами и образованием кратковременного снежного покрова.

Период с момента установления устойчивого снежного покрова (4.11) и перехода средней суточной температуры через -5°C в сторону понижения (6.11) до его разрушения (4.04) и перехода средней суточной температуры через 0°C в сторону повышения (8.04), считается в Красноярске зимним, его продолжительность в среднем составляет 153-158 дней. С даты устойчивого перехода средних суточных температур через 0°C (8.04) до даты прекращения заморозков на поверхности почвы (1.06) продолжается весенний сезон (около 8 недель). За начало летнего сезона принимается дата устойчивого перехода суточных температур через 10°C (18.05) и дата окончания заморозков на поверхности почвы. Концом лета и началом осени принято считать среднюю дату появления заморозков на поверхности почвы и переход средней суточной температуры воздуха через 10°C в сторону понижения. Средняя продолжительность лета в Красноярске – 105 дней, с колебаниями в отдельные годы в пределах 74-125 дней. Продолжительность осеннего сезона – около двух месяцев, датой окончания считается переход средней суточной температуры через -5°C и средняя дата образования устойчивого снежного покрова (Климат Красноярска, 1982).

В течение года в городе могут наблюдаться такие отрицательные явления атмосферы как туманы, грозы, град, метели, изморозь, пыльные бури и суховеи.

Выхолаживание приземного слоя воздуха в стационарном циклоне приводит к образованию туманов, которые в годовой ходе имеют два максимума - зимой (декабрь-февраль) и в конце лета. Число дней с туманами колеблется в больших пределах (12-48), в среднем за год составляет 32: октябрь-март – 21 день, апрель-сентябрь – 11 дней. В суточном ходе наибольшая повторяемость туманов отмечается в утренние часы, причем в ноябре-январе туманы отмечаются в любое время суток, в летнее время – ночью, либо ранним утром. Штиль и слабый ветер способствуют образованию туманов. Для Красноярска характерно образование дымки (в среднем 122 дня за год) – сильно разреженного тумана, видимость при котором составляет 1-10 км. В отдельные месяцы (январь, декабрь) дымка наблюдается ежедневно.

Грозы наблюдаются в основном в теплое время года при кучево-дождевой облачности, часто сопровождаются шквалистым ветром, сильными ливнями, градом. В среднем за год отмечается 21 день с грозой. Наибольшая повторяемость гроз (37 %) отмечается в июне, когда грозы возможны каждый четвёртый день, наименьшая - в апреле-мае (5 %).

Как и гроза, град характерен для теплого времени года. В среднем за лето бывает один-два дня с градом. Выпадение града наиболее вероятно в конце весны и начале лета. Размер градин обычно не велик (с горошину или немного меньше), но отмечаются случаи, когда их размер достигал 20-40 мм.

Метели наблюдаются с сентября по май, в среднем в этот период бывает до 29 метелей. Наиболее часто метели наблюдаются в зимний период (ноябрь, декабрь), на эти месяца приходится и максимальная их продолжительность (104-212 ч в месяц). Метели сопровождаются ветром от 6 до 13 м/с (80 % случаев). В 54 % случаев метели наблюдаются при температуре от минус 5 до минус 15 °С.

Изморозь – характерное явления для городской зимы, образуется при штилевой погоде (кристаллическая) или в туманную ветреную погоду (зернистая), чаще при температурах от -20 до -29,9 °С. Среднее число дней с

изморозью (в месяц) - 17. Максимум дней с изморозью (21) достигается в декабре и очень редко в январе-феврале.

Пыльные бури вызываются сильным ветром, в Красноярске за год наблюдается от четырёх до пяти дней с пыльной бурей.

Суховеи слабой и средней интенсивности наблюдаются ежегодно, а интенсивные и очень интенсивные реже. Слабые суховеи бывают в среднем 17 дней, а суховеи средней интенсивности четыре дня в году.

В целом, климат Красноярска по санитарно-гигиеническим нормативам характеризуется как суровый, что обусловлено низкими температурами воздуха зимой, которые в отдельные периоды усугубляются высокими скоростями ветра, относительно высокими температурами воздуха в сочетании с интенсивной солнечной радиацией – летом. Комфортные погодные условия в городе составляют 1 месяц и 1 неделю в году, благоприятные (теплые и прохладные) – 34 %, или около трех месяцев. В течение остального периода времени (примерно 7,5 месяцев) летом необходимо создание «охлаждающего эффекта, а в холодный период года - снижение дискомфортных условий. Кроме того, техногенные факторы среды дополнительно снижают микроклиматическую комфортность в городе (Климат Красноярска, 1982; Авдеева, 2007).

2.2 Загрязнение атмосферного воздуха в г. Красноярске

Красноярск – крупный промышленный центр Восточной Сибири. Современная экологическая обстановка г. Красноярска формировалась в течение длительного периода нарастания промышленного производства до 1991-1992 гг. и последующего периода его спада.

Толчком к индустриализации города послужило образование в 1934 г. Красноярского края. В период 1934-1944 гг. в Красноярске было введено 33 новых предприятия, более 80 предприятий было эвакуировано в годы Великой Отечественной войны. Позже были построены заводы

асбоцементных изделий, железобетонных изделий, фибролитовых плит, шиферный и шинный заводы, завод резинотехнических изделий, биохимический завод, завод медицинских препаратов, металлургический, целлюлозно-бумажный, экскаваторный и другие комбинаты (Красноярск. Экологические очерки, 2012). Высокая концентрация промышленных предприятий, выбрасывающих в атмосферу города тысячи тонн токсичных веществ, привело к ухудшению качества атмосферного воздуха г. Красноярска. На протяжении длительного времени население города проживало в условиях близких к экологической катастрофе.

В последние десятилетия XX века по разным причинам многие предприятия были закрыты или перепрофилированы, что положительным образом сказалось на качестве атмосферного воздуха. Однако такие промышленные гиганты, как Красноярский алюминиевый завод, предприятия теплоэнергетики и пр. и в настоящее время успешно наращивают темпы производства.

Аккумуляции загрязняющих веществ в атмосфере г. Красноярска способствует ряд специфических природно-климатических факторов. Территория г. Красноярска имеет сложный рельеф, город разместился в глубокой котловине, укрытой от ветров хребтами Саянских гор, что способствует слабой вентиляции городского пространства и, как следствие, низкой рассеивающей способности атмосферы, что приводит к накоплению поллютантов в городе и пригородной зоне.

Введение в эксплуатацию Красноярской ГЭС также имело негативные последствия для экологии г. Красноярска. Изменение термического режима р. Енисей в черте города привело к снижению температуры речной воды летом и образованию обширной полыньи зимой (Космаков, 2002). Разница температур между Енисеем и окружающим пространством, приводит к неравномерному нагреву воздушных масс и образованию облака водяного пара, частицы которого аккумулируют в себе вредные вещества. В безветренную погоду это

способствует образованию смога и увеличению концентраций вредных примесей в атмосфере Красноярска (Красноярск. Экологические очерки, 2012).

Рассеивающая способность нижнего слоя атмосферы зависит не только от количества выбросов загрязняющих веществ, но и от метеорологических условий (Климат Красноярска, 1982). Красноярск располагается в зоне высокого и очень высокого потенциала загрязнения атмосферы, что связано с высокой вероятностью возникновения и повторяемости неблагоприятных метеорологических условия (НМУ) - приземных инверсий, застоев воздуха, слабых ветров, туманов и пр. (Ежегодник ..., 2019, 2020, 2021). В период НМУ Красноярск накрывает «шапкой» едкого смога, и проблема экологической безопасности населения становится видна невооруженным глазом.

На рассеивание примесей в урбосреде большое влияние оказывает городская застройка. Градостроительная политика в г. Красноярске в последние 15-20 лет велась без учета природных условий города и экологических рисков. Точечная застройка, строительство новых высотных микрорайонов с домами, расположенными вплотную друг к другу, оказывают негативное влияние на рассеивание вредных примесей, способствуют аккумуляции токсичных веществ в жилой застройке (Михайлюта, 2005; Мокринiec, 2012; Сарченко и др., 2019; Mikhailuta, 2017).

Регулярные наблюдения за качеством атмосферного воздуха в г. Красноярске ведутся с 1961 г. В настоящее время на территории города функционируют 8 стационарных постов государственной наблюдательной сети (ФГБУ «Среднесибирское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды») и 7 пунктов краевой подсистемы мониторинга (КГБУ «Центр реализации мероприятий по природопользованию и охране окружающей среды»). Местоположение и программа наблюдений постов представлена в таблице таблица 2.1.

Таблица 2.1 – Местоположение и программа наблюдений постов государственной и региональной наблюдательной сети

Условные обозначения постов и их функциональная специализация	Адрес	Программа наблюдений за качеством атмосферного воздуха
1	2	3
ФГБУ «Среднесибирское УГСМ»		
ПНЗ №1 (фоновые)	ул. Минусинская, район д. 14д	Отбор проб воздуха проводится 6 дней в неделю в сроки 01, 07, 13 и 19 часов по местному времени по показателям: диоксид серы, оксид углерода, взвешенные вещества, диоксид и оксид азота, формальдегид, бенз(а)пирен, сероводород, фенол, гидрофторид, гидрохлорид, аммиак, ароматических углеводородов.
ПНЗ №3 («авто»)	ул. Сурикова, район д. 54м	
ПНЗ №5 (жилые)	ул. Быковского, район д. 4д	
ПНЗ №7 (жилые)	ул. А. Матросова, район д. 6д	
ПНЗ №8 (промышленные)	ул. Кутузова, район д. 92ж	
ПНЗ №9 (промышленные)	ул. Чайковского, район д. 7д	
ПНЗ №20 (промышленные)	ул. 26 Бакинских Комиссаров, район д. 26д	
ПНЗ №21 (жилые)	ул. Красномосковская, район д. 32д	
КГБУ «ЦРМПиООС»		
АПН «Красноярск-Северный» (промышленные)	ул. Мате Залки, между д.4 и 4а	Непрерывные наблюдения с осреднением данных за 20 минут по показателям: оксид и диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода, взвешенные частицы (до 2,5 мкм), бензол, толуол, хлорбензол, оксилон, сумма м, п-ксилолов, этилбензол, стирол, фенол, аммиак. Также путем ежедневного (за исключением воскресных и праздничных дней) отбора проб воздуха на АПН и их последующего анализа в стационарной лаборатории по показателям: - мкр. Северный и мкр. Солнечный: гидрохлорид, гидрофторид, бенз(а)пирен, фториды твердые, свинец - мкр. Черемушки: гидрохлорид, гидрофторид, бенз(а)пирен, фториды твердые, формальдегид - мкр. Покровка: гидрохлорид, гидрофторид, бенз(а)пирен, фториды твердые, формальдегид, свинец
АПН «Красноярск-Солнечный» (промышленные)	бул. Солнечный, район д.2	
АПН «Красноярск-Черемушки» (промышленные)	ул. Львовская, район д. 50	
АПН «Красноярск-Покровка» (промышленные)	ул. Авиационная, район д. 86	
АПН «Красноярск-Кировский» (жилые)	ул. Павлова, район д. 21/1	
АПН «Красноярск-Свердловский» (жилые)	ул. 60 лет Октября, район д. 46	

1	2	3
АПН «Красноярск-Ветлужанка» (жилые)	ул. Гусарова, между д.1 и 9а	Непрерывные наблюдения с осреднением данных за 20 минут по показателям: оксид и диоксид азота, диоксид серы, оксид углерода, взвешенные частицы (до 2,5 мкм), аммиак, сероводород

Результаты мониторинга состояния атмосферного воздуха г. Красноярска, полученные с постов наблюдения государственной и региональной наблюдательной сети отображаются на официальном сайте ведомств в виде обзорных отчетов за определенный период (месяц, год). Материалы этих отчетов используются при составлении ежегодных Государственных докладов «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае».

Красноярск регулярно входит в список городов РФ с «очень высоким» ($ИЗА_5 > 14$) или «высоким» ($ИЗА_5 = 7-13$) уровнем загрязнения атмосферы (Аналитический обзор, 2009; Гос. доклад «О состоянии ... Красноярском крае ...», 2009-2021; Гос. доклад «О состоянии... Российской Федерации...», 2018, 2020; Ежегодник ..., 2019-2021;). Комплексный показатель $ИЗА_5$ рассчитывается по среднегодовым значениям концентраций пяти загрязняющих веществ, вносящих основной вклад в создание высокого уровня загрязнения, отнесенные к ПДК и приведенные к вредности диоксида серы. Для г. Красноярска приоритетными загрязняющими веществами являются взвешенные вещества, диоксид азота, аммиак, формальдегид, бенз(а)пирен.

На рисунке 2.1 представлена динамика комплексного показателя загрязнения атмосферного воздуха г. Красноярска за 12 лет, по материалам мониторинга государственной наблюдательной сетью (Гос. доклад «О состоянии ... Красноярском крае ...», 2009-2021). С 2008 по 2011 гг. наблюдается постепенное увеличение показателя $ИЗА_5$, что обусловлено, увеличением концентраций в атмосфере формальдегида (с 2,79 в 2008 году

до 11,4 в 2011 году) и бензапирена (с 8,3 в 2008 году с максимумом в 2010 г – 10,20). С 2012 года отмечается тенденция к снижению показателя ИЗА₅, минимальный уровень которого зафиксирован в 2015 году (ИЗА₅>7), однако на протяжении последующих трех лет г. Красноярск вернулся в список городов с наибольшим уровнем загрязнения (ИЗА₅≥14). С 2019 года Красноярск выбыл из приоритетного списка городов РФ с наибольшим уровнем загрязнения. По сравнению с предыдущими годами было выявлено существенное снижение концентраций взвешенных веществ, оксида азота, фенола, фторида водорода, формальдегида, бенз(а)пирена. Причинами этого явились метеорологические условия года, способствовавшие более активному очищению атмосферного воздуха (особенно в зимний период), а также проводимые мероприятия по улучшению экологической обстановки в период подготовки и проведения зимней Универсиады-2019.

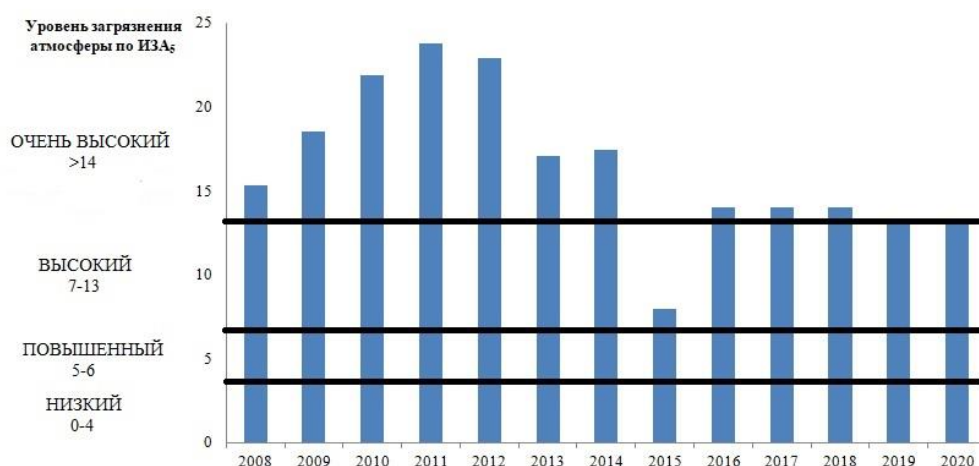


Рисунок 2.1 – Изменение индекса загрязнения атмосферного воздуха (ИЗА₅) г. Красноярск за период 2008-2020 гг.

Перечень ведущих предприятий, основных химических загрязнителей атмосферного воздуха г. Красноярск в течение довольно продолжительного времени остается неизменным и включает преимущественно предприятия цветной металлургии и электроэнергетики (таблица 2.2).

Таблица 2.2 – Промышленные предприятия, имеющие наибольшие выбросы загрязняющих веществ в атмосферу г. Красноярска за период 2008-2020 гг.

Предприятия	Выбросы загрязняющих веществ по годам, тыс. т												
	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
ОАО «РУСАЛ Красноярск»	69,5	67,4	66,9	65,8	65,5	62,2	61,3	60,5	57,8	56,8	55,1	56,8	54,1
ОАО «Енисейская ТГК-13» филиал «Красноярская ТЭЦ-1»	25,4	26,4	25,9	20,7	22,5	17,6	17,0	16,9	17,4	17,0	17,3	15,7	14,3
ОАО «Енисейская ТГК-13» филиал «Красноярская ТЭЦ-2»	20,0	19,3	19,8	17,2	17,3	13,6	14,9	15,1	15,3	14,1	14,9	14,1	15,5
ОАО «Енисейская ТГК-13» филиал «Красноярская ТЭЦ-3»	6,7	6,3	7,0	6,4	10,5	12,0	12,0	13,2	13,1	9,6	7,2	8,3	6,9

Как видно из представленных данных, выбросы загрязняющих веществ от промышленных предприятий имеют тенденцию к снижению. Так, за 12 – летний период эмиссии ОАО «Енисейская ТГК-13» филиал «Красноярская ТЭЦ-1» снизились на 43,7 %, ОАО «Енисейская ТГК-13» филиал «Красноярская ТЭЦ-2» - на 22, 5 %, ОАО «Русал Красноярск» - на 22,1 %. Загрязняющие вещества, поступающие в атмосферу г. Красноярска от ОАО «Енисейская ТГК-13» филиал «Красноярская ТЭЦ-3» остаются на прежнем уровне. На долю предприятий теплоэнергетического комплекса г. Красноярска приходится 35,8 % выбросов от стационарных источников. Снижение эмиссий ТЭЦ г. Красноярска связано с уменьшением выработки электроэнергии, снижением зольности и объема сожженного топлива, увеличением КПД очистных сооружений. В основном колебания в сторону уменьшения или увеличения эмиссий ТЭЦ связаны с объемом вырабатываемой электроэнергии.

На рисунке 2.2 представлена динамика выбросов загрязняющих атмосферу веществ г. Красноярска от стационарных и передвижных источников за период 2008-2020 годов.

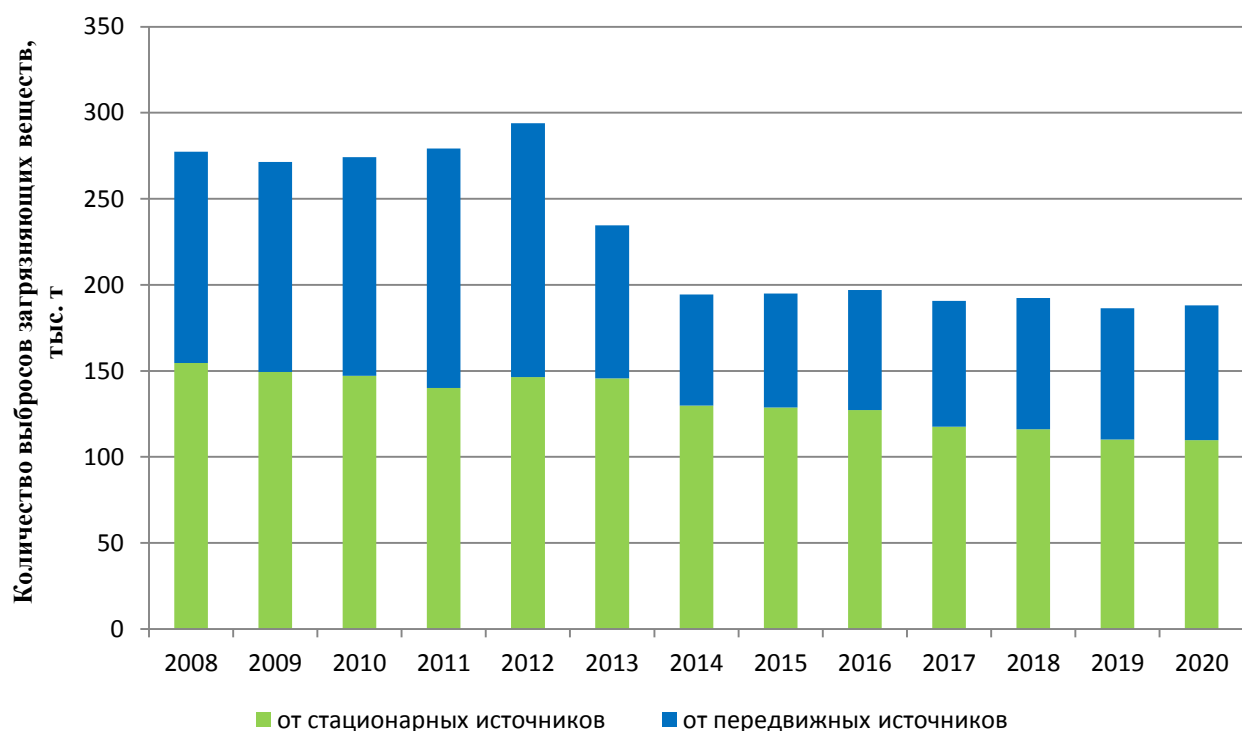


Рисунок 2.2 – Выбросы загрязняющих веществ в атмосферу г. Красноярска за период 2008-2020 гг.

Суммарное количество выбросов загрязняющих веществ в атмосферу г. Красноярска за период 2008-2020 гг. снизилось на 32,2 %. Переломным моментом стал 2013 год, начиная с которого, ежегодно количество выбросов от стационарных и передвижных источников уменьшается.

Эмиссии от стационарных источников составляют в среднем 58 % суммарных выбросов загрязняющих веществ в год. Снижения мощностей производственных предприятий, модернизация производства и увеличение КПД очистных сооружений способствовало снижению эмиссий от стационарных источников за период 2008-2020 гг. на 29 %.

Большой вклад в загрязнение атмосферы г. Красноярска вносит автотранспорт (около 42 % от суммарных выбросов), численность которого в городе постоянно растет. По данным ГИБДД на 31.12.2019 в Красноярске зарегистрировано 591278 транспортных средств (прирост с 2008 г. + 271209 единиц), из которых 76 % – это легковые автомобили, 12 % - грузовые автомобили, 3 % - мототранспортные средства, 1 % - автобусы, 8 % -

прицепы и полуприцепы (Госавтоинспекция ..., 2022). Около 50 % семей в г. Красноярске имеют в пользовании хотя бы один личный автомобиль, около 20 % владеют двумя автомобилями. По состоянию на 1 июля 2020 г обеспеченность легковыми автомобилями в г. Красноярске составила 300 авто / 1000 чел (Красноярский край ..., 2022). Среди причин чрезмерного загрязнения автотранспортом атмосферы называются некачественное топливо, устаревший автопарк, плохое состояние дорожных покрытий, движение транспортных потоков (Корчагин, 2008). Значительно снизить нагрузку на атмосферный воздух позволяет замена устаревшего парка автотранспортных средств на автомобили более высокого экологического класса, увеличение количества электротранспорта в доле пассажирских перевозок, а также введение новых транспортных развязок и изменение схем движения. Реализация данных мероприятий позволила снизить количество выбросов от автотранспорта на 36,2 % за период 2008-2020 гг., однако, начиная с 2014 г, количество выбросов загрязняющих веществ уверенно растет, в среднем на 2,6 тыс. т ежегодно.

С 1.01.2019 г. в Красноярске реализуется федеральный проект «Чистый воздух» национального проекта «Экология», целью которого является улучшение экологической обстановки и снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (Национальный проект ..., 2022). Общий объем финансирования проекта составляет 68,69 млрд рублей, из которых на мероприятия по снижению выбросов от автотранспорта заложено около 20 млрд рублей, от предприятий теплоэнергетики и частного сектора - 46,5 млрд руб и 1,7 млрд рублей выделено на модернизацию промышленных предприятий. По программе к 2024 году объем выбросов загрязняющих веществ в Красноярске планируется уменьшить на 22 % (42,6 тыс.т). Комплексный план мероприятий предполагает замещение малоэффективных угольных котельных, экологическую модернизацию предприятий, обновление подвижного состава общественного транспорта, совершенствование системы мониторинга состояния атмосферного воздуха и

регионального экологического надзора, создание лесопаркового зеленого пояса города.

За три года реализации проекта произведено обновление подвижного состава общественного транспорта с экологическим классом не ниже Евро-4 (+422 единицы), начала работу автоматизированная система управления дорожным потоком, призванная оптимизировать дорожное движение с учетом реальной дорожной обстановки. Произведена модернизация крупных промышленных предприятий. АО «РУСАЛ Красноярск» осуществило переход на технологию электролиза «ЭкоСодерберг», произвело строительство новых и модернизацию существующих газоочистных установок. ООО «Сибирская генерирующая компания» - возвела новую дымовую трубу на Красноярской ТЭЦ-1 (высотой 275 м, призванной более эффективно рассеивать выбросы), с установкой современных электрофильтров, малоэффективные угольные котельные были подключены к централизованному источнику теплоснабжения, некоторые из них были остановлены. ООО «Красноярский цемент» модернизировало вращающуюся автопечь, также произведен монтаж автоматической измерительной системы выбросов. Расширена территориальная сеть наблюдений за качеством атмосферного воздуха (+2 АПН), введена в работу круглосуточная экологическая служба экологического надзора.

В рамках проекта большое внимание отводится озеленению и благоустройству городского пространства: 240 га вокруг г. Красноярска признаны лесопарковым зеленым поясом, благоустроено 18 объектов инфраструктуры (Национальный проект ..., 2022). Однако, для того чтобы система озеленения способствовала повышению комфортности городской среды, необходим грамотный, научно-обоснованный подход к ее организации. При этом важным моментом при формировании искусственных насаждений на урбанизированных территориях является подбор устойчивого ассортимента древесных растений.

Выводы по главе:

1. Город Красноярск находится в зоне умеренного климата с резко выраженной континентальностью. Комфортные погодные условия в городе составляют 1 месяц и 1 неделю в году, благоприятные - около трех месяцев.

2. Специфические природно-климатические условия – котловинность рельефа, незамерзающая в черте города р. Енисей, высокая вероятность возникновения и повторяемости приземных инверсий и штилей, а также специфика городской застройки и размещение промышленных предприятий, способствуют высокой аккумуляции загрязняющих веществ в атмосфере города.

3. Красноярск регулярно входит в список городов РФ с «очень высоким» ($ИЗА_5 > 14$) или «высоким» ($ИЗА_5 = 7-13$) уровнем загрязнения атмосферы, приоритетными загрязняющими веществами являются взвешенные вещества, диоксид азота, аммиак, формальдегид, бенз(а)пирен.

4. Среди мер, направленных на стабилизацию экологической обстановки г. Красноярска важное значение должно отводиться мероприятиям по созданию рациональной системы озеленения, в частности, подбору устойчивого ассортимента древесных растений для создания искусственных насаждений.

3 ПРОГРАММА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

3.1 Программа исследований

В программу исследования входило:

- установить видовой состав, количественное участие, возрастную структуру, жизненное состояние древесных растений в искусственных насаждениях г. Красноярска;
- изучить особенности роста и развития морфоэлементов годичных побегов *Betula pendula*, *Tilia cordata*, *Padus maackii* и *Malus baccata* в урбанизированной среде;
- изучить показатели водоудерживающей способности листьев *Betula pendula*, *Tilia cordata*, *Padus maackii* и *Malus baccata* в урбанизированной среде;
- разработать практические рекомендации по созданию искусственных насаждений данных видов и подбору ассортимента древесных растений для создания устойчивых насаждений, эффективно выполняющих свои средообразующие функции в городской среде.

3.2 Объекты исследования

Объектами исследования были выбраны древесные растения в составе различных функциональных категорий насаждений г. Красноярска. Участки для исследования были заложены в семи административных районах г. Красноярска, и включали в себя насаждения скверов и парков, а также улиц. Территорией условного контроля был выбран Дендрарий Института леса СО РАН.

Характеристика условий произрастания, в которых проводилось изучение состояния древесных растений, приведена в разделе 5.1.

Обследование зеленых насаждений с оценкой их видового состава, количественного участия, возрастной структуры и жизненного состояния проводилась на общей площади около 60 га, и включала в себя наиболее посещаемые горожанами скверы и парки, а также основные транспортные артерии города (рисунок 3.1). Всего было обследовано около двадцати трех тысяч особей древесных растений.

Для эколого-физиологической характеристики состояния древесных растений в составе насаждений различных экологических зон были выбраны наиболее распространенные в озеленении г. Красноярска виды как местной, так и интродуцированной флор - *Betula pendula*, *Malus baccata*, *Tilia cordata* и *Padus maackii*.

Betula pendula Roth. – относится к семейству березовые (*Betulaceae*), роду береза (*Betula*). Распространена в европейской части (кроме крайних северных и южных районов), в Крыму, на Кавказе, в Западной и Восточной Сибири, заходит на Дальний Восток и в горные районы Средней Азии (Булыгин, 1991; Пчелин, 2007). Крупное дерево высотой до 25-35 м и 0,6-0,9 м в диаметре, с ажурной, неправильной кроной и гладкой, белой, отслаивающейся корой. У взрослых деревьев нижняя часть ствола покрыта мощной черноватой коркой, с глубокими трещинами. Ветви большей частью повислые, молодые побеги бородавчатые. Листья на удлинённых побегах и поросли – треугольные, на укороченных – ромбические, голые, до 7 см длиной, в молодости смолистые, липкие. Цветет береза одновременно с облиствением, созревание плодов происходит в середине лета. Плод березы – мелкий орех приплюснутой формы с двумя перепончатыми крыльями. Плодоносит дерево ежегодно и достаточно обильно.

В молодом возрасте берёза растёт медленно, примерно со 2-3 года жизни, скорость роста увеличивается, и это обеспечивает ей победу над конкурирующей травянистой растительностью.



Рисунок 3.1 – Объекты исследования: 1 – парк «Троя», 2 – сквер «Фестивальный», 3 – пр. Свободный (между ул. Ак. Курчатова и ул. Красномосковской), 4 – парк им. Ю. А. Гагарина, 5 – сквер «Красная площадь», 6 – ЦПКиО им. М. Горького, 7 – сквер на площади Революции, 8 – сквер им. В. И. Сурикова, 9 – сквер им. А. С. Пушкина, 10 – Центральная набережная, 11 – пр. Мира (между ул. Робеспьера и ул. П. Коммуны), 12 – ул. К. Маркса (между ул. Робеспьера и ул. Каратанова), 13 – парк «Гвардейский», 14 – сквер «Космонавтов», 15 – сквер на Кольцевой, 16 – сквер у Дворца труда, 17 – сквер «Семейный», 18 – сквер «Юбилейный», 19 – сквер «Корнетовский», 20 – пр. Красноярский рабочий (между ул. Коммунальной и ул. Мичурина), 21 – парк «Сибсталь», 22 – сквер у Красноярского цирка, 23 – ул. 60 Лет Октября (между пер. Медицинский и ул. Матросова), 24 – Дендрарий Института леса СО РАН

Продолжительность жизни до 90-120 (150) лет, в городской среде с высокой степенью антропогенной нагрузки продолжительность жизни данного вида сокращается до 60-70 лет. Корневая система мощная, в зависимости от условий произрастания либо поверхностная, либо, что чаще, уходит косо вглубь. Обладает фитонцидными свойствами, обогащает воздух легкими отрицательными ионами.

Моро- и зимостойка, очень светолюбива, засухоустойчива, нетребовательна к почве, но плохо переносит ее уплотнение. Размножается семенами, а восстанавливается пневой порослью, которая появляется после гибели только сравнительно молодых деревьев.

Декоративна, рекомендуется для одиночных, групповых посадок, создания массивов, пейзажей в парках и лесопарках. Используется в г. Красноярске во всех типах насаждений.

Betula pendula отличается высокой экологической пластичностью, интенсивным ростом, долговечностью, обладает высокими пыле- и газоулавливающими свойствами и достаточно хорошо произрастает в условиях техногенной среды (Антипов, 1957; Кулагин, 1985; Неверова, Колмогорова, 2003; Неверова, Николаевский, 2003; Бухарина и др., 2007; Абаимов, 2018).

Malus baccata Borkh. относится к семейству розоцветные (*Rosacea*), подсемейству яблоневые (*Maloideae*), роду яблоня (*Malus*). Естественный ареал охватывает юг и юго-восток Восточной Сибири, Дальний Восток, Маньчжурию, Северный Китай, в культуре встречается повсеместно (Булыгин, 1991; Абаимов, 2018). Небольшое дерево или кустарник от 3 до 10 м высотой. Кора шероховатая, пепельно-серая, на побегах красно-коричневая. Крона раскидистая, хорошо облиственная. Листья овально-эллиптические до 10 см длиной и 6 см шириной, зеленые, осенью желтые. Цветет в мае. Цветки розовато-белые, ароматные. Плоды созревают в сентябре, шаровидные, мелкие, до 5-10 мм в диаметре, желтые с красным

оттенком, оранжевые или красные. Они довольно долго сохраняются на деревьях, обеспечивая птицам дополнительный корм зимой.

Вид морозоустойчив выдерживает понижения температуры ниже -55 °С, светолюбив, засухоустойчив, не требователен к почвенным условиям, однако лучшего развития достигает на богатых, достаточно влажных и хорошо дренированных почвах. Легко приживается при пересадке. Размножается семенами и корневой порослью. Растет медленно. Продолжительность жизни составляет около 200 лет. Относительно газоустойчива. Хорошо переносит стрижку.

Malus baccata широко используется в мировой селекции. Является лучшим подвоем в северном плодоводстве.

Декоративна в период цветения, когда обильно покрывается белорозовыми цветками и осенью, в период созревания плодов. Рекомендуется использовать в озеленении при создании одиночных и групповых посадок, живых изгородей. Высокая морозостойкость этого вида делает его особенно ценным в зеленом строительстве северных районов. В Красноярске используется в озеленении различных категорий функционального назначения насаждений.

Tilia cordata Mill. относится к семейству липовые (*Tiliaceae*), роду липа (*Tilia*). Естественный ареал - европейская часть РФ, Урал, Западная Сибирь, Кавказ. Широко распространена в культуре (Булыгин, 1991; Абаимов, 2018).

Дерево до 28 м высотой и 1,5 м в диаметре ствола с шатровидной кроной. Кора стволов в молодости гладкая или слегка трещиноватая, в старости – неглубокопродольно-бороздчатая, темная. Листья округлые или слегка продолговатые, 5-9 см длиной и 5-8 см шириной, с сердцевидным, реже с несимметричным и усеченным основанием. Цветет липа в июне-июле, соцветие – поникающее, со свисающими желтыми цветками. Время ее цветения служит общепринятым индикатором наступления середины фенологического лета. Плоды – шаровидные орешки, созревают в конце лета – осенью. Размножается семенами, отводками, порослью, черенками,

прививкой. Порослевая способность сохраняется до глубокой старости. Долговечна, доживает до 500 – 600 лет.

Весьма зимостойка и редко повреждается морозами, исключительно теневынослива, к почвам среднетребовательна, плохо переносит засуху (Гроздов, 1952; Ткаченко, 1952; Болотова, 1953; Крылов, 1958; Зыков, 1960; Булыгин, 1991; Пчелин, 2007; Громадин, 2013; Абаимов, 2018).

Некоторыми авторами считается устойчивой к агрессивной городской среде - дыму, грязи, пыли, загазованности. Установлено, что в условиях техногенного загрязнения способна поглощать значительные количества тяжелых металлов листьями, ветвями и плодами и является их концентратором, тем самым очищая атмосферный воздух от токсичных элементов (Мамиева, Ширина, 2017).

Tilia cordata хорошо переносит пересадку даже во взрослом состоянии, успешно приспосабливается к условиям произрастания, мало подвергается болезням и прекрасно противостоит вредителям. Медонос. Декоративна на протяжении всего года. Прекрасно выдерживает формировку кроны, подходит для создания шпалер. Используется в городском озеленении для создания аллейных, групповых и одиночных посадок. В озеленении г. Красноярска встречается в насаждениях общего пользования, а также в магистральных посадках, преимущественно Центрального района.

Padus maackii Kom. - вид семейства розоцветные (*Rosacea*), подсемейства сливовые (*Prunoideae*), рода черемуха (*Padus*). Распространена на Дальнем Востоке: Приморский и Хабаровский край, юго-восточные районы Амурской области, за пределами России встречается в северо-восточном Китае и Корее. Растет одиночно или группами в долинах лесных горных рек и ручьев (Солодухин, 1962; Усенко, 1984).

Дерево до 17 м высотой и 40 см в диаметре, с широкопирамидальной кроной. Ствол покрыт очень нарядной, красновато-оранжевой или золотисто-желтой корой, гладкой, блестящей, отслаивающейся поперек ствола бумагообразными, тонкими пленками. Листья блестящие, эллиптические или

продолговатые, с оттянутой верхушкой, острозубчатые, до 13 см длиной. Весной они светло-зеленые, летом — темно-зеленые, осенью — интенсивно желтые или желтовато-красные. Осенью, в отличие от других видов рода, дружно и быстро сбрасывает листву. Цветки белые, собраны прямостоячие продолговатые кисти, без запаха. Плоды мелкие, до 5 см в диаметре, округлые, черные, очень горькие, несъедобные, служат лакомством для птиц и животных. Растет быстро, легко размножается семенами. Один из лучших медоносов Дальнего Востока.

Radus maackii морозоустойчивая, легко переносит минусовые температуры до -40-45 °С. Предпочитает плодородные, свежие почвы, ветроустойчива. Очень чувствительна к затенению, даже в полутени теряет декоративность, в то время как при полном освещении сохраняет декоративность до глубокой старости. Газо- и дымоустойчива. Отмечено как древесное растение, наиболее эффективно снижающее шум в городах, обладает высокими фитонцидными свойствами. Хорошо переносит пересадку, стрижку и асфальтовое покрытие. Мало подвержена нападению вредителей. Декоративна в любое время года. Рекомендуются для одиночных и групповых посадок, для создания аллей, широко используется во всех типах озеленительных посадок г. Красноярска.

Radus maackii в культуре с 1870 года. В качестве инорайонного вида широко распространена в городах европейской части России, в Сибири (Усенко, 1969; Встовская, 1987; Булыгин, 1991; Лоскутов, 1991, 1993; Коропачинский, Лоскутов, 2014; Абаймов, 2018), имеются сведения о выращивании данного вида в европейских странах и Северной Америке (Waters. Notes and Quotes..., 1986).

3.3 Методы исследований

Исследования проводились в период 2009-2020 гг. С целью установления видового состава и возрастной структуры искусственных

насаждений г. Красноярска на выбранных объектах был проведен сплошной переучет древесной растительности с разделением по видам и категориям возрастного состояния.

Степень участия видов в насаждениях общего пользования определяли как отношение количества экземпляров данного вида к общему числу обследуемых деревьев всех пород.

Характеристика возрастного состояния и возрастной структуры популяций проводилась с помощью онтогенетическо-популяционного подхода, разработанного Т. А. Работновым (1950) и А. А. Урановым (1975). Для городских посадок были выделены следующие возрастные состояния древесных растений:

а) виргинильные (взрослые вегетативные) особи (v) – молодые, обычно узкокронные деревца с очистившейся от боковых веточек базальной частью ствола и листьями взрослого типа;

б) молодые генеративные деревья (g_1) – вступившие в пору плодоношения молодые растения преимущественно с островершинной кроной, большими приростами в высоту и листьями взрослого типа. Плодоношение обычно характерно для верхней части кроны, необильное, нерегулярное;

в) средневозрастные генеративные особи (g_2) – обильно плодоносящие деревья с хорошо сформированной туповершинной (у лиственных деревьев) кроной, сравнительно небольшими годичными приростами в высоту и большими годичными приростами по диаметру ствола. Поверхность ствола большинства видов покрыта трещиноватой коркой почти до половины его длины или, по крайней мере, в его основании (у гладкоствольных видов). Корневая система полностью сформирована;

г) старые генеративные деревья (g_3), способные к плодоношению от обильного до незначительного к концу состояния; лиственные деревья, а также сосна имеют широкоокруглую крону в связи с прекращением роста в высоту. Прирост ствола в толщину продолжается, его поверхность

покрывается коркой с трещинами почти на всю (у большинства видов) или хотя бы на одну треть длины (у гладкоствольных деревьев). Начинается усыхание крупных скелетных ветвей и верхушки кроны, из спящих почек базальных участков ветвей и ствола формируется вторичная крона. Процессы отмирания затрагивают корневую систему (Ценопопуляции растений ..., 1976).

Для характеристики состояния доминантных видов в составе городских насаждений, при перечете деревьев визуальное оценивали жизненное состояние каждой особи. При этом выделяли следующие категории состояния растений:

1 – здоровое дерево, внешние признаки ослабления (повреждения ствола и корней) отсутствуют, повреждения листьев незначительны, мертвые и (или) отмирающие ветви сосредоточены в нижней части кроны, в верхней – отмирающих ветвей нет или они единичны;

2 – ослабленное дерево, отмечается снижение густоты кроны на 30 %, наличие мертвых и (или) усыхающих ветвей в верхней части кроны, из ассимиляционной деятельности исключается до 30 % площади листьев, незначительные повреждения ствола и корней;

3 – сильно ослабленное дерево, для которого характерны снижение густоты кроны и ассимиляционной площади листьев на 60 %, наличие до 60 % мертвых и (или) усыхающих ветвей, отмирание верхушки кроны, значительные повреждения ствола;

4 – отмирающее дерево, крона разрушена, более 70 % ветвей сухие или усыхающие, более 70 % площади листьев (хвои) с хлорозами или некрозами, характерны сильные повреждения ствола;

5 – сухостойное дерево текущего года – погибшее менее года назад, возможно наличие остатков сухих листьев (хвои), мелкие веточки и кора сохранились;

6 – старое сухостойное дерево – погибшее в прошлые годы, постепенно утрачивается ветви и кора.

Индекс жизненного состояния вида рассчитывался по оценке жизненного состояния отдельных особей по формуле (1):

$$L_n = \frac{100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4}{N}, \quad (1)$$

где: L_n – относительное жизненное состояние вида, рассчитанное по числу деревьев, %, n_1 – число здоровых, n_2 - ослабленных, n_3 - сильно ослабленных, n_4 - отмирающих деревьев, N – общее число деревьев.

На основании полученных результатов, древесные растения по показателю жизненного состояния были разделены на следующие категории:

I – здоровые, при $L_n > 80$ %;

II – ослабленные, при $L_n = 50-79$ %;

III – сильно ослабленные (сильно поврежденные), $L_n = 20-49$ %

IV – отмирающие (полностью разрушенные), $L_n \leq 19$ % (Алексеев, 1989, Лесные экосистемы, 1990).

Для характеристики эколого-физиологических показателей древесных растений, на пробных площадях было выбрано по 10 модельных деревьев исследуемых видов. Учетные деревья представлены одновозрастными для каждого вида растениями – средневозрастное генеративное состояние (g_2). В целом наблюдали более 360 модельных деревьев. Сбор материала для лабораторных исследований осуществлялся следующим образом: у каждого модельного дерева с южной стороны средней части кроны срезалось по 5 годичных побегов. С каждого годичного побега для исследования отбиралось необходимое количество листьев.

Визуальная оценка и биометрические показатели модельных особей определялись по модифицированной методике В. С. Николаевского с соавторами (1999). С помощью визуальных методов оценивали степень нарушения ассимиляционного аппарата и крон деревьев, для этого определяли: 1 - процент живых ветвей в кронах деревьев (P_1); 2 – степень

облиственности крон (P_2); 3 – процент живых (без некрозов) листьев (P_3) в кронах; 4 – средний процент (P_4) живой площади листа, при этом 10 % соответствовало 1 баллу. Суммарная оценка состояния деревьев (C_B) каждого вида оценивалась по формуле (2),

$$C_B = P_1 + P_2 + P_3 + P_4 \quad (2)$$

где: C_B 36-40 б – удовлетворительное, 31-35 баллов – ослабленное, 26-30 – сильно ослабленное, ≤ 25 – критическое.

Биометрический способ оценки состояния деревьев предусматривал измерение: 1 – размеров годичных отрезков боковых побегов; 2 – количество листьев на годичных отрезках боковых побегов; 3 – сырого и абсолютно-сухого веса листьев годичных отрезков боковых побегов; 4 – площади листьев на годичных отрезках боковых побегов. Площадь листьев определяли весовым методом по методике М. С. Миллера с модификацией Л. В. Дорогань (Федорова, Никольская, 2001).

Водоудерживающую способность листьев определяли по методике В. С. Николаевского, которая основана на определении скорости потери воды изолированными листьями в течение определенного периода времени (Николаевский, 1998, 2002). Потерю воды листьями растений определяли с помощью аналитических весов путем взвешивания проб листьев через один час после их изолирования и рассчитывали в процентах от первоначального веса. Сбор материала для исследования осуществлялся в два этапа (июль, август).

Анализ биометрических показателей, водоудерживающей способности листьев проведен у 6000 образцов.

Весь полученный фактический материал был обработан методами математической статистики с использованием программы Microsoft Office Excel 2007 (Шмидт, 1984; Доспехов, 1985).

4 ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ Г. КРАСНОЯРСКА

Эффективность выполнения санитарно-гигиенических и эстетических функций городскими зелеными насаждениями во многом зависит от видового ассортимента древесной растительности. Сложные климатические условия г. Красноярска несомненно накладывают отпечаток на видовой ассортимент озеленительных посадок, однако многолетние исследования, проводимые в Ботаническом саду им Вс. М. Крутовского, в дендрарии СибГТУ (Матвеева и др., 2000, 2009) и дендрарии Института леса им. В.Н. Сукачева СО РАН (Протопопова, 1972, 1987, 1984; Лоскутов, 1991, 1993, 1997; Коропачинский, Лоскутов, 2014), свидетельствуют, что перечень древесных растений местной и интродуцированной флоры для нашего региона достаточно велик и насчитывает около 300 видов деревьев и кустарников. Однако в реальности для озеленения городской территории Красноярска используется достаточно ограниченный ассортимент видов.

4. 1 Видовой состав

На основании проведенных обследований установлено, что в зеленых насаждениях г. Красноярска произрастает 54 древесных вида, которые относятся к 39 родам и 18 семействам. Ассортимент древесной и кустарниковой растительности, произрастающей в различных типах городских насаждений г. Красноярска представлен в таблице 4.1.

Наибольшее распространение во всех типах городских посадок получили представители семейства *Rosaceae*, которое в озеленении Красноярска представлено 14 родами и 19 видами. Семейства *Pinaceae* и *Caprifoliaceae* включают в себя по 3 рода, *Oleaceae*, *Elaeagnaceae*, *Grossulariaceae*, *Salicaceae* - по 2 рода. Остальные семейства представлены единичными родами и видами.

Таблица 4.1 – Ассортимент древесных растений в городских насаждениях

Семейство	Род	Вид	Родина	Парки и скверы	Улицы
1	2	3	4	5	6
<i>Pinaceae</i>	<i>Pinus</i>	<i>P. sylvestris</i> L.	Аборигенный вид	+	-
		<i>P. sibirica</i> Du Tour.	Аборигенный вид	+	-
	<i>Picea</i>	<i>P. obovata</i> Ledeb.	Аборигенный вид	+	+
		<i>P. pungens</i> Engelm.	Северная Америка	+	+
	<i>Larix</i>	<i>L. sibirica</i> Ledeb.	Аборигенный вид	+	+
<i>Cupressaceae</i>	<i>Thuja</i>	<i>T. occidentalis</i> L.	Северная Америка	+	-
<i>Salicaceae</i>	<i>Salix</i>	<i>Salix</i> (виды)	Аборигенный вид	+	+
	<i>Populus</i>	<i>P. balsamifera</i> L.	Северная Америка	+	+
		<i>P. alba</i> L.	Европа	+	+
		<i>P. nigra</i> L.	Аборигенный вид	+	+
<i>Ulmaceae</i>	<i>Ulmus</i>	<i>U. pumila</i> L.	Дальний Восток	+	+
		<i>U. laevis</i> Pall.	Европа	+	+
		<i>U. glabra</i> Huds.	Европа	+	+
<i>Rosaceae</i>	<i>Malus</i>	<i>M. baccata</i> Borkh.	Аборигенный вид	+	+
		<i>M. domestica</i> Borkh.	Гибрид, встречается в культуре	+	+
	<i>Sorbus</i>	<i>S. sibirica</i> Hedl.	Аборигенный вид	+	+
	<i>Pyrus</i>	<i>P. ussuriensis</i> Maxim.	Дальний Восток	+	+
	<i>Amelanchier</i>	<i>A. ovalis</i> Medik.	Аборигенный вид	+	-
	<i>Cotoneaster</i>	<i>C. melanocarpus</i> Lodd.	Европа	+	+
		<i>C. lucida</i> Schlecht.	Восточная Сибирь, Забайкалье	+	-
	<i>Cerasus</i>	<i>C. tomentosa</i> (Thumb.) Wall	Китай, Гималаи, Япония	+	-
	<i>Rosa</i>	<i>R. rugosa</i> Thunb.	Дальний Восток	+	-
		<i>R. majalis</i> Herrm.	Аборигенный вид	+	+
		<i>R. glauca</i> Pourr.	Европа	+	-
	<i>Sorbaria</i>	<i>S. sorbifolia</i> L.	Аборигенный вид	+	-
	<i>Spiraea</i>	<i>S. media</i> Franz. Schmidt	Аборигенный вид	+	-
	<i>Padus</i>	<i>P. avium</i> Mill.	Аборигенный вид	+	+
		<i>P. maackii</i> Kom.	Дальний Восток	+	+
	<i>Grataegus</i>	<i>G. sanguinea</i> Pall.	Аборигенный вид	+	-
	<i>Prunus</i>	<i>P. ussuriensis</i> Maxim.	Дальний Восток	+	-
	<i>Physocarpus</i>	<i>P. opulifolius</i> (L.) Maxim.	Северная Америка	+	-
	<i>Amygdalis</i>	<i>A. nana</i> L.	Европа	+	-
<i>Aceraceae</i>	<i>Acer</i>	<i>A. negundo</i> L.	Северная Америка	+	+
		<i>A. ginnala</i> Maxim.	Дальний Восток	+	+

Окончание таблицы 4.1

1	2	3	4	5	6
<i>Oleaceae</i>	<i>Syringa</i>	<i>S. josikaea</i> Jacg. fil.	Европа	+	+
		<i>S. vulgaris</i> L.	Европа	+	-
	<i>Fraxinus</i>	<i>F. excelsior</i> L.	Европа	+	+
<i>Fabaceae</i>	<i>Caragana</i>	<i>C. arborescens</i> Lam.	Аборигенный вид	+	+
<i>Tiliaceae</i>	<i>Tilia</i>	<i>T. cordata</i> Mill.	Европа	+	+
<i>Betulaceae</i>	<i>Betula</i>	<i>B. pendula</i> Roth.	Аборигенный вид	+	+
		<i>B. pubescens</i> Ehrh.	Аборигенный вид	+	+
<i>Caprifoliaceae</i>	<i>Lonicera</i>	<i>L. tatarica</i> L.	Европа	+	+
	<i>Viburnum</i>	<i>V. opulus</i> L.	Аборигенный вид	+	-
	<i>Sambucus</i>	<i>S. racemosa</i> L.	Аборигенный вид	+	-
<i>Berberidaceae</i>	<i>Berberis</i>	<i>B. vulgaris</i> L.	Европа	+	+
		<i>B. amurensis</i> Rupr.	Дальний Восток	+	+
<i>Juglandaceae</i>	<i>Juglans</i>	<i>J. mandshurica</i> Maxim.	Дальний Восток	+	-
<i>Grossulariaceae</i>	<i>Ribes</i>	<i>R. aureum</i> Pursh.	Северная Америка	+	-
	<i>Crossularia</i>	<i>C. acicularis</i> Sm.	Аборигенный вид	+	-
<i>Elaeagnaceae</i>	<i>Elaeagnus</i>	<i>E. argentea</i> Pursh.	Северная Америка	+	-
	<i>Hippophae</i>	<i>H. rhamnoides</i> L.	Аборигенный вид	+	-
<i>Cornaceae</i>	<i>Swida</i>	<i>S. alba</i> Opiz.	Аборигенный вид	+	-
<i>Fagaceae</i>	<i>Quercus</i>	<i>Q. robur</i> L.	Европа	+	-
<i>Rhamnaceae</i>	<i>Frangula</i>	<i>F. alnus</i> Mill.	Аборигенный вид	+	-

Наибольшее число видов обнаружено в насаждениях парков и скверов (53), меньшее видовое разнообразие наблюдается в озеленении улиц – 29 видов.

В составе искусственных насаждений г. Красноярска наряду с видами аборигенной флоры активно используются виды-интродуценты. В местных условиях урбанизированной среды интродуценты во многих случаях оказываются более устойчивыми и долговечными, чем местные виды; их использование обеспечивает существенное повышение эстетических и санитарно-гигиенических свойств озеленительных посадок, способствует сокращению затрат на выращивание посадочного материала и содержание городских зеленых насаждений (Лоскутов, 1991; Коропачинский и др. 2013, 2014).

Соотношение видов местной и интродуцированной флор в составе различных типов насаждений г. Красноярска представлено на рисунке 4.1.

Наибольшее распространение в обследованных насаждениях г. Красноярска получили интродуценты флоры Европы. Данную флористическую область представляют 16 видов, относящихся к 13 родам и 11 семействам. Среди них: *Syringa josikaea*, *Tilia cordata*, *Populus alba*, *Fraxinus excelsior*, *Cotoneaster melanocarpus*, *Berberis vulgaris*.

Флору Дальнего Востока представляют 5 семейств, 8 родов и 9 видов: *Ulmula pumila*, *Pyrus ussuriensis*, *Padus maackii*, *Acer ginnala*, *Berberis amurensis*, *Juglans mandshurica*, *Prunus ussuriensis*, *Rosa glauca* и *Rosa rugosa*.

Из Северо-американской флористической области встречаются *Populus balsamifera*, *Acer negundo*, *Picea pungens*, *Physocarpus opulifolius*, *Ribes aureum*, *Elaeagnus argentea*, *Thuja occidentalis*.

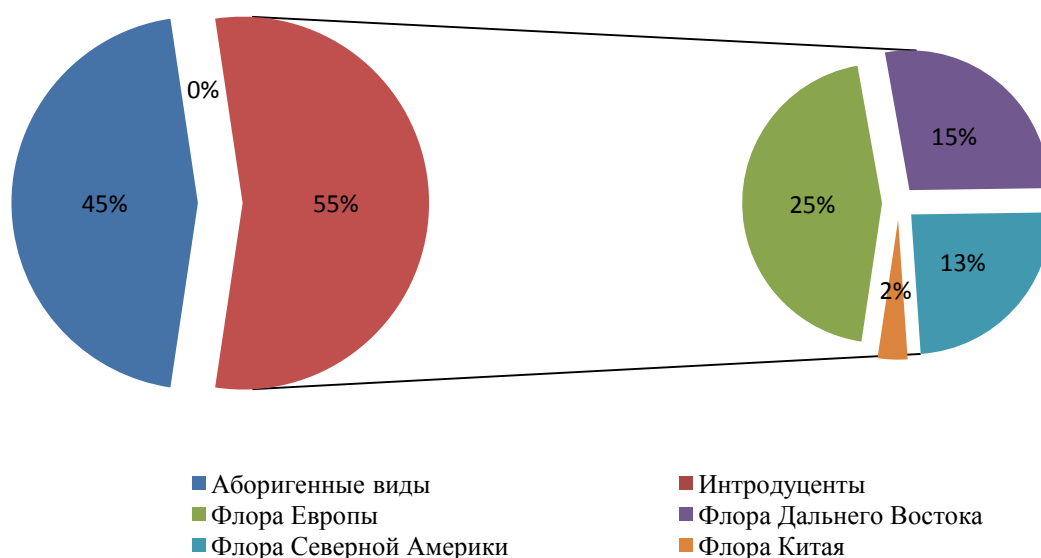


Рисунок 4.1 – Соотношение аборигенных и интродуцированных видов в искусственных насаждениях г. Красноярска

Cerasus tomentosa – единственный представитель Китайской флористической области.

К сожалению, не во всех случаях опыт введения в городские насаждения новых видов оказывается положительным. При подборе ассортимента деревьев и кустарников для озеленительных посадок, помимо

долговечности и декоративных качеств, необходимо учитывать экологические свойства растений в совокупности с условиями среды, в которую они вводятся. Однако, вследствие увеличившихся возможностей привоза посадочного материала (в основном крупномерного), в систему городского озеленения г. Красноярска активно вводятся интродуценты, недостаточно апробированные в специфических городских и микроклиматических условиях местности или смежных регионов. Среди них *Aesculus hippocastanum*, *Thuja occidentalis*, *Qercus rubra*, а также некоторые сорта хвойных растений родов *Pinus* и *Picea*.

4.2 Количественное участие

Оценка степени участия видов в различных категориях городских насаждений проводилась по показателю доли участия. На основании доли участия все древесные породы были разделены на три группы: а) древесные породы с низкой долей участия (до 1% от всех учтенных особей); в) со средней долей участия (от 1 до 5%); с) с высокой долей участия (более 5%) (Полякова, 2004). Данные приведены в таблице 4.2 и на рисунке 4.2.

Таблица 4.2 – Доля участия древесных растений в составе различных типов городских насаждений

Вид	Доля участия, % / шт.		
	Во всех категориях насаждений	Парки и скверы	Озеленение улиц
1	2	3	4
<i>Pinus sylvestris</i> L.	<u>3,01</u> 688	<u>4,25</u> 688	-
<i>Pinus sibirica</i> Du Tour.	<u>0,48</u> 110	<u>0,68</u> 110	-
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	<u>5,38</u> 1232	<u>5,13</u> 829	<u>6,01</u> 403
<i>Picea pungens</i> Engelm.	<u>0,95</u> 218	<u>0,53</u> 86	<u>1,97</u> 132
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	<u>5,12</u> 1171	<u>5,95</u> 963	<u>3,10</u> 208
<i>Thuja occidentalis</i> L.	<u>0,03</u> 7	<u>0,04</u> 7	-

Продолжение таблицы 4.2

1	2	3	4
<i>Salix</i> (виды)	<u>0,45</u> 102	<u>0,53</u> 86	<u>0,24</u> 16
<i>Populus balsamifera</i> L.	<u>11,33</u> 2592	<u>11,88</u> 1921	<u>10,00</u> 671
<i>Populus alba</i> L.	<u>1,56</u> 356	<u>0,20</u> 33	<u>4,82</u> 323
<i>Populus nigra</i> L.	<u>0,42</u> 96	<u>0,57</u> 92	<u>0,06</u> 4
<i>Ulmus pumila</i> L.	<u>9,75</u> 2232	<u>6,50</u> 1052	<u>17,59</u> 1180
<i>Ulmus laevis</i> Pall.	<u>0,24</u> 54	<u>0,07</u> 12	<u>0,63</u> 42
<i>Ulmus glabra</i> Huds.	<u>0,42</u> 96	<u>0,51</u> 83	<u>0,19</u> 13
<i>Malus baccata</i> Borkh.	<u>5,81</u> 1329	<u>5,18</u> 838	<u>7,32</u> 491
<i>Malus domestica</i> Borkh.	<u>8,71</u> 1992	<u>7,77</u> 1256	<u>10,97</u> 736
<i>Sorbus sibirica</i> Hedl.	<u>2,50</u> 572	<u>2,57</u> 415	<u>2,34</u> 157
<i>Pyrus ussuriensis</i> Maxim.	<u>1,34</u> 307	<u>1,49</u> 241	<u>0,98</u> 66
<i>Amelanchier ovalis</i> Medik.	<u>0,96</u> 220	<u>1,36</u> 220	-
<i>Cotoneaster melanocarpus</i> Lodd.	<u>0,70</u> 161	<u>0,64</u> 104	<u>0,85</u> 57
<i>Cotoneaster lucida</i> Schlecht.	<u>0,23</u> 52	<u>0,32</u> 52	-
<i>Cerasus tomentosa</i> (Thumb.) Wall	<u>0,71</u> 162	<u>1,00</u> 162	-
<i>Rosa rugosa</i> Thunb.	<u>0,55</u> 125	<u>0,77</u> 125	-
<i>Rosa majalis</i> Herrm.	<u>0,63</u> 144	<u>0,70</u> 114	<u>0,45</u> 30
<i>Rosa glauca</i> Pourr.	<u>0,08</u> 19	-	-
<i>Sorbaria sorbifolia</i> L.	<u>0,30</u> 68	<u>0,42</u> 68	-
<i>Spiraea media</i> Franz. Schmidt	<u>0,26</u> 59	<u>0,36</u> 59	-
<i>Padus avium</i> Mill.	<u>1,97</u> 451	<u>2,49</u> 102	<u>0,73</u> 49
<i>Padus maackii</i> Kom.	<u>1,91</u> 436	<u>1,82</u> 294	<u>2,12</u> 142
<i>Grataegus sanguinea</i> Pall.	<u>0,09</u> 21	<u>0,13</u> 21	-
<i>Prunus ussuriensis</i> Maxim.	<u>0,43</u> 98	<u>0,61</u> 98	-

1	2	3	4
<i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) Maxim	<u>0,47</u> 108	<u>0,67</u> 108	-
<i>Amygdalis nana</i> L.	<u>0,09</u> 21	<u>0,13</u> 21	-
<i>Acer negundo</i> L.	<u>14,20</u> 3249	<u>12,59</u> 2037	18,65
<i>Acer ginnala</i> Maxim.	<u>0,24</u> 54	<u>0,33</u> 54	-
<i>Syringa josikaea</i> Jacq. fil.	<u>4,89</u> 1119	<u>5,22</u> 844	<u>4,10</u> 275
<i>Syringa vulgaris</i> L.	<u>0,59</u> 136	<u>0,84</u> 136	-
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	<u>0,18</u> 41	<u>0,20</u> 33	<u>0,12</u> 8
<i>Caragana arborescens</i> Lam.	<u>2,89</u> 661	<u>3,67</u> 594	<u>1,00</u> 67
<i>Tilia cordata</i> Mill.	<u>2,28</u> 521	<u>2,40</u> 388	<u>1,98</u> 133
<i>Betula pendula</i> Roth.	<u>3,43</u> 786	<u>3,66</u> 592	<u>2,89</u> 194
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	<u>0,64</u> 147	<u>0,69</u> 112	<u>0,52</u> 35
<i>Lonicera tatarica</i> L.	<u>0,56</u> 127	<u>0,79</u> 127	-
<i>Viburnum opulus</i> L.	<u>0,03</u> 8	<u>0,04</u> 8	-
<i>Sambucus racemosa</i> L.	<u>0,35</u> 79	<u>0,49</u> 79	-
<i>Berberis vulgaris</i> L.	<u>0,62</u> 142	<u>0,64</u> 104	<u>0,57</u> 38
<i>Berberis amurensis</i> Rupr.	<u>0,41</u> 93	<u>0,41</u> 67	<u>0,39</u> 26
<i>Juglans mandshurica</i> Maxim.	<u>0,03</u> 7	<u>0,04</u> 7	-
<i>Ribes aureum</i> Pursh.	<u>0,78</u> 178	<u>1,10</u> 178	-
<i>Crossularia acicularis</i> Sm.	<u>0,37</u> 84	-	-
<i>Elaeagnus argentea</i> Pursh.	<u>0,11</u> 26	<u>0,16</u> 26	-
<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	<u>0,03</u> 6	<u>0,04</u> 6	-
<i>Swida alba</i> Opiz.	<u>0,18</u> 42	<u>0,26</u> 42	-
<i>Quercus robur</i> L.	<u>0,03</u> 6	<u>0,04</u> 6	-
<i>Frangula alnus</i> Mill.	<u>0,31</u> 71	<u>0,44</u> 71	-
Итого	<u>100</u> 22882	<u>100</u> 16174	<u>100</u> 6708

Среди лиственных пород доминантами во всех типах обследованных насаждений являются представители семейств: *Aceraceae* – *Acer negundo*, *Salicaceae* – *Populus balsamifera*, *Ulmaceae* – *Ulmus pumila*, *Rosaceae* – *Malus domestica* и *M. baccata*. Доля участия этих видов в составе зеленых насаждений г. Красноярска составила 49,8 %. К видам со средней долей участия отнесены: *Syringa josikaea* – 4,89 %, *Betula pendula* – 3,43 %, *Tilia cordata* – 2,28 %, *Caragana arborescens* – 2,89 %, *Sorbus sibirica* – 2,50 %, *Padus avium* и *P. maackii* – 1,97 и 1,91 %, соответственно, *Pyrus ussuriensis* – 1,34 % и *Populus alba* – 1,56 %. Доля участия таких декоративных видов, как *Grataegus sanguinea*, *Acer ginnala*, *Elaeagnus argentea*, *Fraxinus excelsior* и пр. составила не более 1 %.

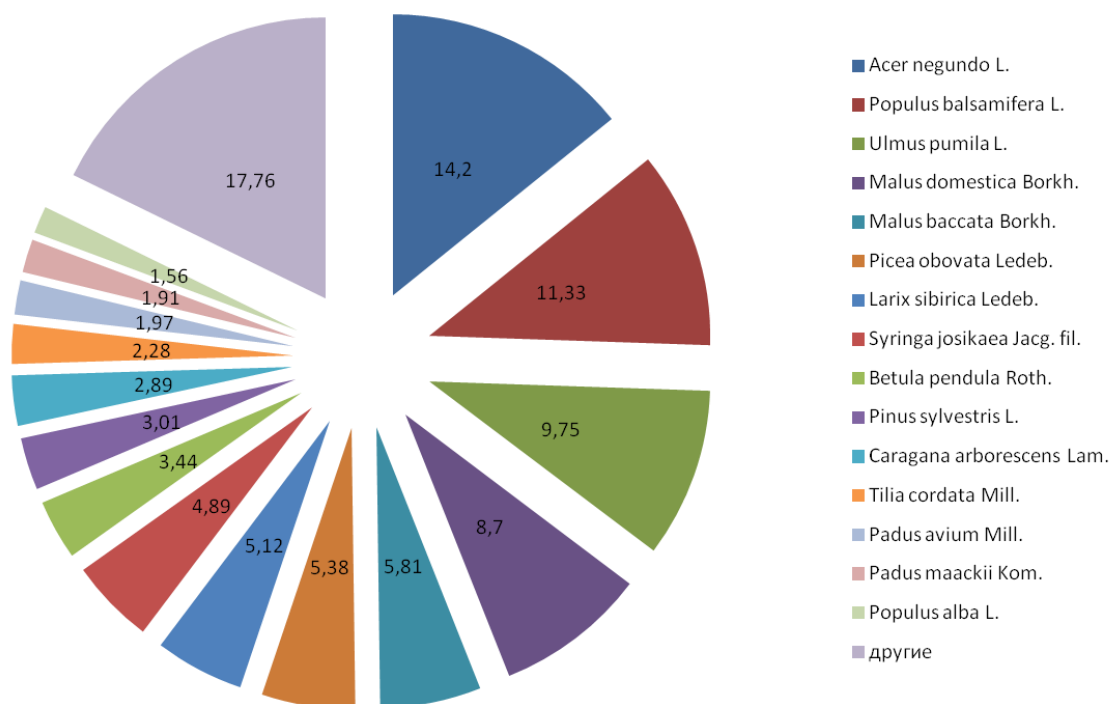


Рисунок 4.2 – Доля участия видов в искусственных насаждениях г. Красноярска

Из хвойных пород наиболее распространены *Picea obovata* – 5,38 % и *Larix sibirica* – 5,12 %.

Наибольшую долю участия во всех типах насаждений г. Красноярска получили интродуценты флор Европы и Дальнего Востока - около 80 %. Из европейской флористической области наиболее распространена *Syringa*

josikaea, доля ее участия в насаждениях парков составила – 3,70 %, скверов – 6,66 %, улиц – 3,82 %. Дальневосточный вид - *Ulmus pumila* – составляет 9,75 % от общего числа учтенных особей. Доминантами Североамериканской флоры являются *Acer negundo* и *Populus balsamifera*, которые в сумме составляют 25,5 % зеленых насаждений г. Красноярска.

Таким образом, несмотря на довольно богатый видовой ассортимент представленных в озеленении видов, около 50 % насаждений составляют пять видов – *Acer negundo*, *Populus balsamifera*, *Ulmus pumila*, *Malus domestica* и *M. baccata*, что свидетельствует о низком уровне декоративно-эстетических свойств изученных насаждений.

Следует отметить, что преобладание ограниченного количества видов древесных растений было отмечено рядом исследователей и в других городах. По данным Фролова А. К. (1998) в насаждениях Санкт-Петербурга наибольшее распространение получили только шесть видов: *Tilia cordata*, *Ulmus laevis*, *Ulmus glabra*, *Acer platanoides*, *Fraxinus excelsior* и *Quercus robur*. В г. Владивостоке - пять видов: *Fraxinus mandshurica*, *Ulmus japonica*, *Betula platyphylla*, *Robinia pseudoacacia* и *Fraxinus rhynchophylla* (Полякова, 2004). В г. Казани (Зеленые насаждения..., 1987) преобладали только три вида - *Acer negundo*, *Tilia cordata* и *Populus balsamifera*. Такая же закономерность характерна для Хабаровска, где доминируют *Ulmus pumila*, *Populus simonii*, *Acer negundo*, *Fraxinus mandshurica*, *Betula platyphylla* (Соловьева и др., 2002).

4.3 Возрастная структура

Важнейшей характеристикой древесных пород служит их возрастное состояние, оценить которое возможно как по календарному, так и по биологическому возрасту. Календарный возраст устанавливается путем подсчета годовых колец на спилах или по кернам, что требует частично или полного уничтожения стволовой древесины. При инвентаризации городских

насаждений использование данного метода невозможно. Поэтому, для установления возрастных состояний древесных растений в городской среде предпочтение отдается онтогенетически-популяционному подходу, критериями для которого служат морфологические и биологические признаки растительности. Во-первых, данный метод позволяет избежать каких-либо повреждений растений, во-вторых, ряд авторов (Уранов, 1975; Смирнова и др., 1976; Ценопопуляции растений ..., 1976.) полагают, что количественное соотношение растений в определенных популяциях по возрастному спектру, дает достаточно четкие представления об общем развитии популяции и ее перспективах на будущее.

В задачи наших исследований входило проведение сравнительного анализа возрастных спектров популяций всех изученных видов в целом, и выявление возрастных спектров у наиболее широко представленных видов в насаждениях г. Красноярска.

Необходимо отметить, что оценить возраст растений подвергавшихся омолаживающей обрезке и/или участвующие в составе живых изгородей (*Ulmus pumila*, *Populus balsamifera*, *Syringa josikaea*, *Picea obovata*, *Berberis amurensis*, *Berberis vulgaris*, *Ribes aureum*, *Caragana arborescens* и др.) не представлялось возможным, и эти особи не были включены в данные исследования.

Анализ возрастной структуры древесных растений показал (рисунок 4.3, таблица 4.3), что 42,7 % особей, подвергшихся инвентаризации по возрастному состоянию относятся к категории «средневозрастные генеративные деревья».

У семнадцати видов, в том числе *Populus balsamifera*, *Ulmus pumila*, *Ulmus laevis*, *Acer negundo*, *Syringa vulgaris*, *Viburnum opulus* более 50 % учтенных особей относятся к средневозрастным генеративным деревьям. Это свидетельствует о старении зеленого фонда города, так как древесные растения в условиях экологического стресса быстрее теряют свой

физиологический потенциал, декоративные качества и легко подвергаются поражению вредителями и болезнями.

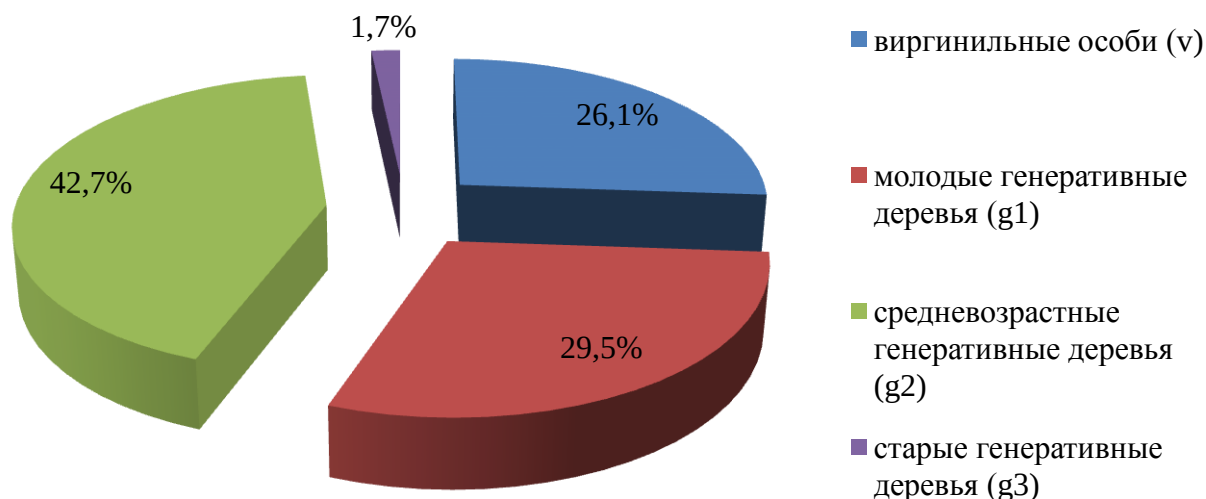


Рисунок 4.3 – Возрастная структура искусственных насаждений г. Красноярска

Таблица 4.3 – Соотношение древесных пород по категориям возрастного состояния, % от общего числа учтенных особей

Вид	Возрастное состояние			
	v	g ₁	g ₂	g ₃
1	2	3	4	5
<i>Pinus sylvestris</i> L.	16	30	39	15
<i>Pinus sibirica</i> Du Tour.	69	31	-	-
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	40	36	18	6
<i>Picea pungens</i> Engelm.	30	59	11	1
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	31	25	40	4
<i>Thuja occidentalis</i> L.	100	-	-	-
<i>Salix</i> (виды)	34	50	14	2
<i>Populus balsamifera</i> L.	2	18	55	25
<i>Populus alba</i> L.	25	72	4	-
<i>Populus nigra</i> L.	10	60	25	5
<i>Ulmus pumila</i> L.	20	25	51	4
<i>Ulmus laevis</i> Pall.	2	17	81	-
<i>Ulmus glabra</i> Huds.	13	42	45	-
<i>Malus domestica</i> Borkh.	4	30	25	1
<i>Malus baccata</i> Borkh.	3	20	17	-
<i>Sorbus sibirica</i> Hedl.	15	45	40	-
<i>Pyrus ussuriensis</i> Maxim.	60	35	5	-
<i>Amelanchier ovalis</i> Medik.	34	66	-	-
<i>Cotoneaster melanocarpus</i> Lodd.	3	86	11	-

1	2	3	4	5
<i>Cotoneaster lucida</i> Schlecht.	2	73	25	-
<i>Cerasus tomentosa</i> (Thumb.) Wall	30	44	26	-
<i>Rosa rugosa</i> Thunb.	2	40	58	-
<i>Rosa majalis</i> Herrm.	41	37	22	-
<i>Rosa glauca</i> Pourr.	79	21	-	-
<i>Sorbaria sorbifolia</i> L.	12	46	42	-
<i>Spiraea media</i> Franz. Schmidt	19	81	-	-
<i>Padus avium</i> Mill.	9	34	56	1
<i>Padus maackii</i> Kom.	17	37	40	6
<i>Grataegus sanguinea</i> Pall.	8	41	51	-
<i>Prunus ussuriensis</i> Maxim.	4	54	42	-
<i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) Maxim	4	44	52	-
<i>Amygdalis nana</i> L.	-	24	76	-
<i>Acer negundo</i> L.	12	28	53	7
<i>Acer ginnala</i> Maxim.	4	54	43	-
<i>Syringa josikaea</i> Jacq. fil.	16	43	40	1
<i>Syringa vulgaris</i> L.	6	41	53	-
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	7	93	-	-
<i>Caragana arborescens</i> Lam.	28	49	23	-
<i>Tilia cordata</i> Mill.	36	45	18	1
<i>Betula pendula</i> Roth.	16	29	47	8
<i>Betula pubescens</i> Ehrh.	31	19	48	2
<i>Lonicera tatarica</i> L.	19	46	35	-
<i>Viburnum opulus</i> L.	3	43	54	-
<i>Sambucus racemosa</i> L.	8	68	24	-
<i>Berberis vulgaris</i> L.	-	100	-	-
<i>Berberis amurensis</i> Rupr.	100	-	-	-
<i>Juglans mandshurica</i> Maxim.	88	12	-	-
<i>Ribes aureum</i> Pursh.	33	26	40	-
<i>Crossularia acicularis</i> Sm.	88	12	-	-
<i>Elaeagnus argentea</i> Pursh.	42	58	-	-
<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	-	100	-	-
<i>Swida alba</i> Opiz.	2	36	62	-
<i>Quercus robur</i> L.	100	-	-	-
<i>Frangula alnus</i> Mill.	7	38	55	-

Примечание: v – виргинильные особи; g₁ – молодые генеративные деревья; g₂ – средневозрастные генеративные деревья; s – старые генеративные деревья.

Второе место в возрастной структуре насаждений г. Красноярска занимают молодые генеративные деревья, особи этой категории преобладают в возрастных спектрах двадцати видов, в том числе доминантов городских насаждений – *Malus domestica* и *M. baccata*. У пяти видов – *Ulmus glabra*,

Sorbus sibirica, *Sorbaria sorbifolia*, *Padus maackii*, *Syringa josikaea* соотношение молодых и средневозрастных деревьев примерно одинаковое. У *Picea obovata* соотношение виргинильных и молодых генеративных деревьев одинаковое.

Доминирование в возрастном спектре молодых генеративных деревьев, как и равное соотношение виргинильных и молодых генеративных особей, при отсутствии особей в категории «старые генеративные деревья», указывает на незавершенность процессов адаптации, поэтому данные виды рекомендуются для включения в дополнительный ассортимент, с продолжением наблюдений за характером их роста и развития в городских условиях. На основании наших исследований, это такие виды как: *Fraxinus excelsior*, *Cotoneaster melanocarpus* и *Cotoneaster lucida*, *Acer ginnala*, *Elaeagnus argentea*, *Pyrus ussuriensis*.

Категория «виргинильные особи» составила 26,1 % исследуемых особей. Преобладание категории «виргинильные особи» характерно для *Pinus sibirica*, *Thuja occidentalis*, *Quercus robur*, *Juglans mandshurica*, *Rosa glauca*, *Pyrus ussuriensis*, *Berberis amurensis*, *Crossularia acicularis*. Доминирование в возрастном спектре виргинильных особей, свидетельствует, с одной стороны, о сравнительно недавнем введении в состав зеленых насаждений конкретного вида, что требует наблюдения за характером их роста и развития, для оценки целесообразности и эффективности их использования в озеленении. Примером этому служат насаждения *Pyrus ussuriensis*, *Rosa glauca*, *Berberis amurensis*, *Crossularia reclinata*. С другой - о неперспективности использования данного вида в озеленительных посадках, поскольку в силу своих биолого-экологических особенностей, данный вид не способен перейти в следующую возрастную категорию. К примеру, посадки *Pinus sibirica*, *Thuja occidentalis* и *Quercus robur*.

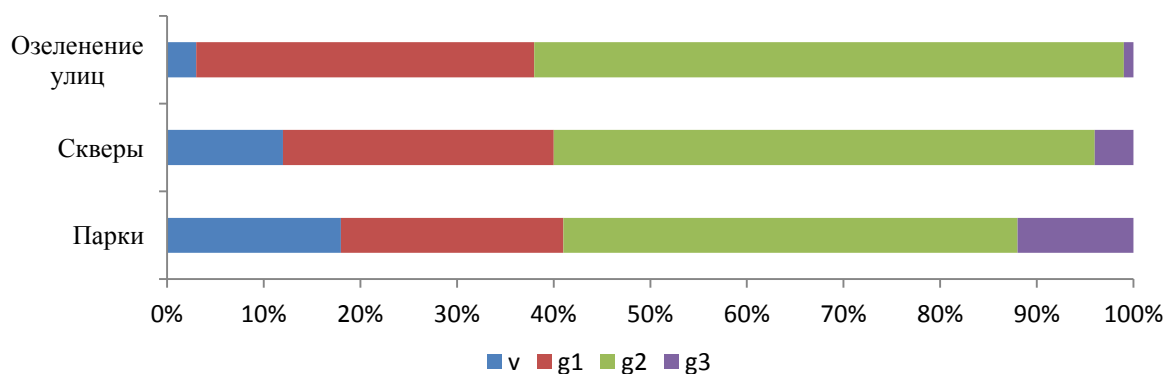
Старые генеративные деревья составляют 1,7 % городских насаждений, обнаружены в насаждениях *Pinus sylvestris*, *Populus balsamifera*, *Acer*

negundo, *Ulmus pumila*, *Larix sibirica*, *Populus nigra*, *Betula pendula*, *Betula pubescens*, *Padus maackii*. Небольшое распространение в посадках города старовозрастных генеративных растений обусловлено с одной стороны тем, что в городских условиях деревья погибают прежде достижения этого возрастного этапа, с другой – в результате снижения декоративных качеств они просто вырубаются. Кроме того, вероятно, сказывается и специфика ухода за различными насаждениями, так деревья разных видов в насаждениях парков имеют, как правило, больший возраст по сравнению с другими насаждениями, так как в них давно не проводили реконструкцию.

Виды, в возрастном спектре которых преобладают средневозрастные генеративные деревья, равно как и виды, возрастной спектр которых представлен всеми категориями состояния, отличаются высокими адаптационными способностями и показателями жизнестойкости, а, следовательно, могут быть рекомендованы к широкому использованию в озеленении города. Как показали исследования, к таким видам относятся – *Betula pendula* и *B. pubescens*, *Populus balsamifera*, *Acer negundo*, *Ulmus pumila* и *U. laevis*, *Padus avium* и *P. maackii*, *Syringa vulgaris* и *S. josikaea*, *Grataegus sanguinea*, *Sorbus sibirica*.

Для насаждений доминантных видов был проведен более подробный анализ возрастной структуры по типам городских насаждений (рисунки 4.4-4.7).

У *Acer negundo* во всех типах насаждений доминируют средневозрастные генеративные деревья (от 47 % в парках до 61 % в уличных посадках) (рисунок 4.4). Старые генеративные деревья минимально представлены в насаждениях улиц (1 %) и скверов (4 %), а в парковых посадках составляют 12 %. Доля виргинильных и молодых генеративных деревьев во всех типах посадок составляет около 40 %, что обеспечит в будущем замену стареющим особям, благодаря чему данный вид сохранит лидирующие позиции в озеленительных посадках г. Красноярска.



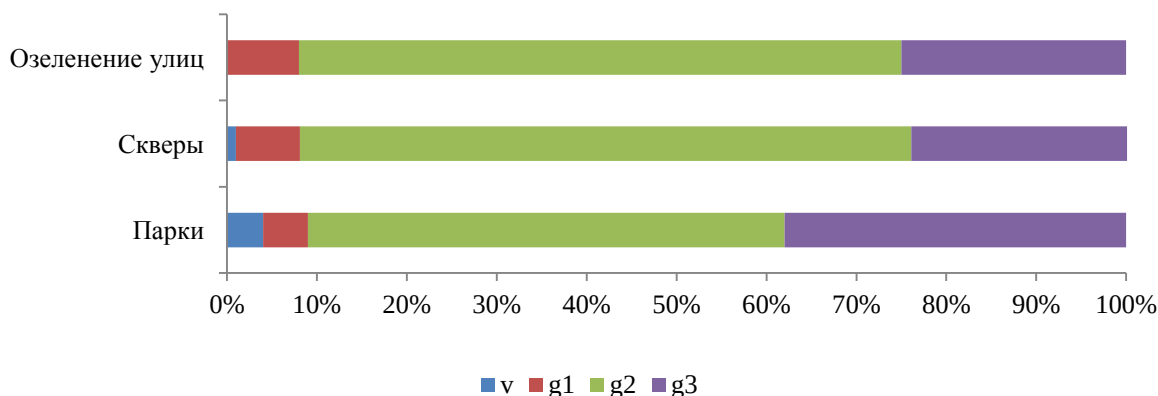
Примечание: v – виргинильные особи; g₁ – молодые генеративные деревья; g₂ – средневозрастные генеративные деревья; g₃ – старые генеративные деревья.

Рисунок 4.4 – Возрастная структура насаждений *Acer negundo* в г. Красноярске

Здесь стоит отметить, что посадки *Acer negundo* в г. Красноярске не ведутся, возобновление вида идет естественным путем, за счет его высокой семенной и порослевой способности, а также благодаря высокой экологической пластичности. Ввиду этих же свойств, *Acer negundo* в Москве и ряде других городов европейской части РФ уже получил статус инвазивного вида и посадка его строго запрещена (Николаева, 2019). Таких рекомендаций для г. Красноярска в настоящее время не существует, однако самостоятельное неконтролируемое размножение *Acer negundo* создает реальную угрозу существующим видам, в связи, с чем контроль и регулирование его численности просто необходимы.

Суммарное участие средневозрастных и старых генеративных деревьев в насаждениях *Populus balsamifera* г. Красноярска составляет около 92 %. Виргинильные и молодые генеративные деревья составляют не более 8 %, что, свидетельствует о том, что в будущем доля участия *Populus balsamifera* в городских посадках будет снижаться.

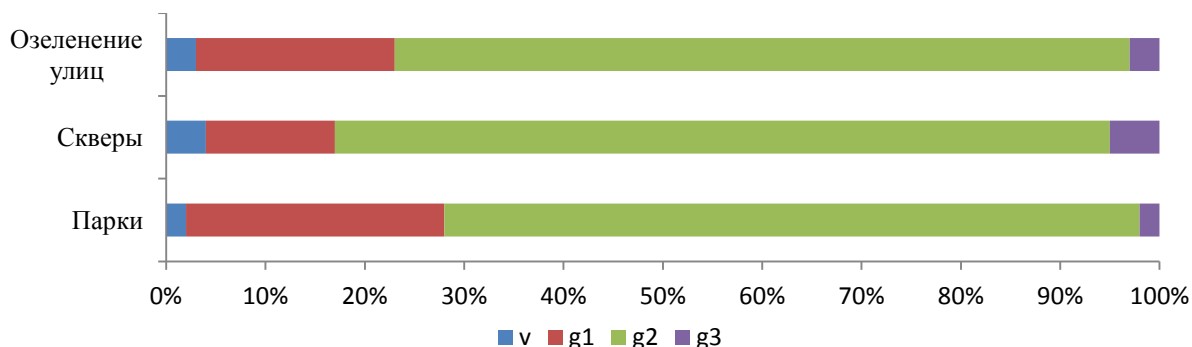
Доминирование в возрастном спектре насаждений *Ulmus pumila* категории «средневозрастные генеративные деревья» отмечается во всех изученных категориях городских насаждений (рисунок 4.6).



Примечание: v – виргинильные особи; g₁ – молодые генеративные деревья; g₂ – средневозрастные генеративные деревья; g₃ – старые генеративные деревья.

Рисунок 4.5– Возрастная структура насаждений *Populus balsamifera* в г. Красноярске

Виргинильные и молодые генеративные деревья, доля которых составляет от 17 % в скверах до 23 и 28 %, соответственно в уличных посадках и парках, обеспечит частичную замену стареющим особям, и в будущем доля участия *Ulmus pumila* в озеленительных посадках г. Красноярска будет иметь тенденцию к снижению.

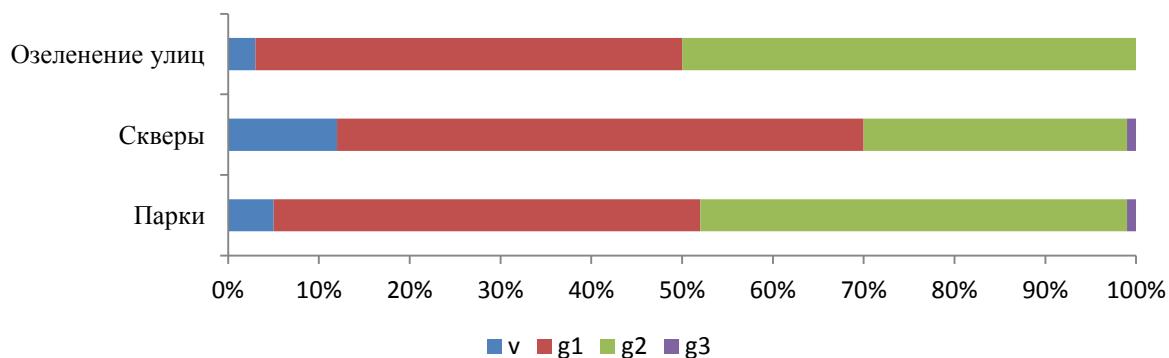


Примечание: v – виргинильные особи; g₁ – молодые генеративные деревья; g₂ – средневозрастные генеративные деревья; g₃ – старые генеративные деревья.

Рисунок 4.6 – Возрастная структура насаждений *Ulmus pumila* в г. Красноярске

Возрастные спектры насаждений *Malus domestica* и *M. baccata* подобны, поэтому были объединены в один и представлены на рисунке 4.7. Насаждения яблони в парках и на улицах в основном представлены молодыми и средневозрастными генеративными деревьями, соотношение

между этими категориями в данных насаждениях примерно одинаковое. В скверах большее распространение получили молодые генеративные деревья (58 %). Старые генеративные деревья во всех типах насаждений не превышают 5 %, а виргинильные особи составляют от 3 % (насаждения улиц), до 12 % в насаждениях скверов.



Примечание: v – виргинильные особи; g₁ – молодые генеративные деревья; g₂ – средневозрастные генеративные деревья; g₃ – старые генеративные деревья.

Рисунок 4.7 – Возрастная структура насаждений *Malus domestica* и *Malus baccata* в г. Красноярске

Яблони в настоящее время продолжают активно вводиться в состав зеленых насаждений г. Красноярска. Посадки в основном осуществляются крупномерными саженцами, поэтому в возрастном спектре *Malus domestica* и *M. baccata* довольно высока доля молодых и средневозрастных генеративных деревьев, в связи с чем устойчивость данных видов и перспективность их использования в озеленении г. Красноярска еще предстоит оценить.

4.4 Оценка жизненного состояния древесных растений

Одним из важных моментов, обеспечивающих высокую эффективность и долговечность создаваемых городских насаждений, является научно-обоснованный подбор древесных пород, устойчивых к сложному комплексу факторов урбанизированной среды. Устойчивость же растений в наибольшей степени зависит от наследственных признаков, возраста растений и условий окружающей среды. Ответную реакцию на комплексное воздействие

факторов среды в наибольшей степени отражает жизненное состояние древесных растений. Существуют разные подходы к визуальной оценке состояния древесных растений. Например, в качестве одной из важнейших характеристик состояния деревьев при мониторинге в настоящее время широко используется поврежденность кроны, проявляющаяся в ее изреженности, снижении густоты (увеличении прозрачности «ажурности»). Использование данного признака позволяет оперативно оценивать поврежденность насаждений природными и антропогенными факторами.

В таблице 4.4 приведено распределение деревьев широко распространенных во всех типах городских насаждений видов по категориям состояния.

Таблица 4.4 – Распределение деревьев по категориям жизненного состояния (по В. А. Алексееву)

Вид древесного растения	Распределение деревьев по категориям состояния, %						Жизненное состояние насаждений (L_n), %	Категория жизненного состояния насаждений
	1	2	3	4	5	6		
<i>Acer negundo</i> L.	2,0	47,5	45,9	3,4	1,0	0,2	53,9	II
<i>Populus balsamifera</i> L.	0,5	30,7	45,9	15,0	6,5	1,3	41,5	III
<i>Ulmus pumila</i> L.	1,3	41,4	48,8	7,3	0,3	0,9	50,2	II
<i>Malus domestica</i> Borkh. и <i>Malus baccata</i> Borkh.	1,5	50,7	42,8	3,0	1,0	1,0	54,4	II
<i>Betula pendula</i> Roth.	6,2	63,3	29,8	0,5	0,1	0,1	62,6	II
<i>Tilia cordata</i> Mill.	3,6	54,8	39,3	2,3	-	-	57,9	II
<i>Padus maackii</i> Kom.	4,1	56,6	37,4	1,9	-	-	58,9	II
<i>Sorbus sibirica</i> Hedl.	6,5	66,3	26,9	0,3	-	-	63,4	II
<i>Larix sibirica</i> Ledeb.	2,0	53,0	43,6	0,6	0,5	0,3	56,6	II
<i>Picea obovata</i> Ledeb.	0,7	42,9	54,1	0,8	0,2	1,3	52,5	II
<i>Pinus silvestris</i> L.	1,2	46,7	50,5	0,9	0,2	0,5	54,2	II

Примечание: 1- здоровые; 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4–отмирающие; 5 – сухостой текущего года; 6 – старый сухостой.

Как видно из данных таблицы, урбопопуляции исследуемых видов показывают неодинаковую устойчивость к комплексному воздействию факторов городской среды. Это проявляется в варьировании значений жизненного состояния от 41,5 до 63,4%, что соответствует двум категориям жизненного состояния насаждений - сильно поврежденные (III) и слабо поврежденные (II).

Характер повреждений, снижающий жизненное состояние изученных видов подобен, но степень выраженности и причины их появления различны. При обследовании городских насаждений у особей изученных видов были выявлены наличие усыхающих ветвей в верхней части кроны, низкая охвоенность и облиственность побегов, наличие заболеваний листьев и хвои (ржавчина, пятнистости) и некрозно-раковых болезней, повреждения вредителями (скелетирование, минирование, грубое объедание листьев), а также механические повреждения стволов, ветвей и корней. Все это несомненно снижает как декоративные-эстетические, так и санитарно-гигиенические свойства зеленых насаждений.

Из лиственных пород наиболее низкими показателями жизненности (категория «сильно поврежденные») характеризуются насаждения *Populus balsamifera* – 68,7 % от общего числа особей данного вида относятся к последним четырем категориям (рисунок 4.6). Доля особей категории «без признаков ослабления» – 0,5 %. Снижение жизненности данного вида обусловлено в большей мере наличием большого количества сухих ветвей, причинами усыхания которых с одной стороны является деятельность фито- и энтомовредителей, с другой – факторы абиотической среды, а у возрастных деревьев (возрастное состояние g_3) - процессами естественного (физиологического) старения деревьев.

По данным Татаринцева А. И. (2020) для насаждений *Populus balsamifera* в г. Красноярске характерны болезни филлосферы (ржавчина и мучнистая роса листьев), снижающие их эстетические свойства и приводящие к общему ослаблению деревьев, а также некрозно-раковые

болезни – бактериальная водянка и цитоспороз. Радикальная обрезка, которой зачастую подвергаются деревья *Populus balsamifera* (рисунок 4.8), также снижает жизненное состояние вида, поскольку в сочетании с засушливой погодой приводит к критической для деревьев потере влаги и провоцирует их усыхание от цитоспороза, возбудитель которого постоянно присутствует в тканях коры в виде латентной инфекции (Татаринцев, 2020).

Насаждения *Ulmus pumila*, *Acer negundo*, *Malus domestica* и *Malus baccata* характеризуются как слабо поврежденные $L_n=50,2$; 53,9; 54,4 %, соответственно (рисунок 4.8-4.9).



Рисунок 4.8 – *Ulmus pumila* в магистральных посадках после омолаживающей обрезки (вверху) и массовое усыхание *Populus balsamifera* после радикальной обрезки в парке «Гвардейский» (внизу)

Категория «здоровые деревья» малочисленна, к ней отнесено у *Ulmus pumila* - 1,3 %, у *Malus domestica* и *Malus baccata* - 1,5 %, у *Acer negundo* - 2,0 %, от всех учтенных особей. Распределение деревьев между категориями «ослабленные» и «сильно ослабленные» примерно 1:1, и в сумме данные категории составляют в среднем 92,4 % от общего числа особей обследованных насаждений. Категории «усыхающие» (3,0-7,3 %) и «сухостойные» (1,0-1,2 %) - в основном составляют возрастные деревья, отмирание которых – естественный процесс онтогенеза.



Рисунок 4.9 - Особи *Malus baccata* категорий «ослабленные» и «сильно ослабленные» преобладают в зеленых насаждениях г. Красноярска

Уход за *Ulmus pumila* и *Acer negundo* в насаждениях г. Красноярска включает в себя проведение регулярной омолаживающей обрезки деревьев, что является важным корректирующим фактором их состояния. Однако, для

вязовых насаждений, ввиду устойчивости видов к недостатку и потере влаги, даже радикальная обрезка оказывает положительный санитарно-омолаживающий эффект, снижая пораженность наиболее распространенным некрозно-раковым заболеванием – тиростромозом, а у *Acer negundo*, особенно в сочетании с недостатком влаги, напротив, повышает восприимчивость вида к поражению листьев мучнистой росой (Татаринцев, 2012, 2020). Показатель жизненного состояния *Padus maackii* и *Tilia cordata* составляет – 58,9 и 57,9 %, соответственно (рисунок 4.10-4.11).



Рисунок 4.10 – Жизненное состояние *Padus maackii* в озеленении г. Красноярск

Для насаждений данных видов характерно увеличение доли деревьев категорий «здоровые» (в среднем до 3,8 %) и «ослабленные» (в среднем до

55,7 %), при одновременном снижении доли категорий деревьев «сильно ослабленные» (в среднем до 38,3 %) и «усыхающие» (в среднем до 2,1 %). Сухостойных деревьев данных видов в ходе исследований не обнаружено, что, по-видимому, обусловлено меньшей их распространенностью в городских посадках и низкой представленностью в возрастном спектре категории «старые генеративные деревья».



Рисунок 4.11 - *Tilia cordata* в зеленых насаждениях г. Красноярска

Типичным повреждением ассимиляционного аппарата *Tilia cordata*, особенно в магистральных посадках, являются хлорозы, ввиду того, что данный вид не выдерживает засоления почв, что неминуемо происходит при

использовании антигололедных реагентов на улицах города. Для насаждений *Padus maackii* характерны повреждения ствола – сухобочины и морозобойные трещины, возникающие в зимний период при низких отрицательных температурах.

У аборигенных видов - *Betula pendula* и *Sorbus sibirica*, из изученных видов отмечаются самые высокие показатели жизненности – 62,6 и 63,9 %, соответственно (рисунок 4.12).

Для данных видов отмечается увеличение доли здоровых деревьев (до 6,2-6,5 %), при этом к категории «ослабленные» относится в среднем около 65 % учтенных особей.



Рисунок 4.12 – Особи *Sorbus sibirica* категорий «без признаков ослабления» и «усыхающие»

Из хвойных пород в насаждениях г. Красноярска наименее устойчивы насаждения *Picea obovata* и *Pinus silvestris* (рисунок 4.13).

В насаждениях данных видов преобладают деревья категорий «ослабленные» и «сильно ослабленные», которые в сумме составляют у *Picea obovata* - 97 %, а у *Pinus silvestris* – 97,2 % от общего числа учтенных особей. Категорию «здоровое дерево» составляют 0,7 и 1,2 %, соответственно.

Стоит отметить, что если у ранее рассмотренных видов - *Populus balsamifera*, *Ulmus pumila*, *Betula pendula* - категорию «сухостой» формируют возрастные деревья (как результат физиологического старения), то у *Picea obovata* и *Pinus silvestris* к этой категории относятся особи всех возрастных состояний, включая и более молодые.



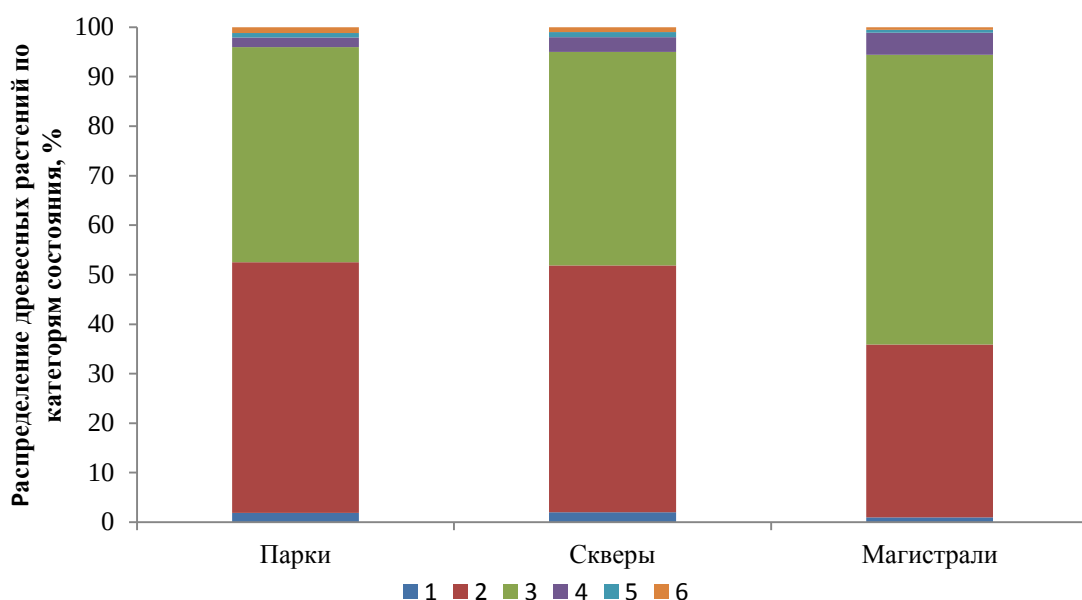
Рисунок 4.13 – Типичное состояние особей *Picea obovata* Ledeb. в насаждениях г. Красноярска

Более высокие показатели жизненности из хвойных пород отмечены у *Larix sibirica*. К категории «без признаков ослабления» у данного вида

отнесено 2 % от особей, соотношение особей категории «ослабленные» и «сильно ослабленные» примерно 1:1, и в сумме составляют 96,6 %. Категорию «сухостойные» деревья формируют в основном возрастные особи.

Распределение наиболее распространенных в озеленении г. Красноярска видов по категориям состояния в различных типах городских насаждений отражено на рисунке 4.14.

Как видно из рисунка, в насаждениях всех типов преобладают деревья категорий «ослабленные» и «сильно ослабленные».



Примечание: 1– без признаков повреждения; 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие; 5 – сухостой текущего года; 6 – старый сухостой.

Рисунок 4.14– Распределение древесных растений по категориям состояния в озеленении г. Красноярска

Жизненное состояние уличных насаждений г. Красноярска соответствует категории сильно ослабленные ($L_n=49\%$), парков и скверов – как ослабленное ($L_n=55$ и 54% , соответственно). В магистральных посадках, в сравнении с насаждениями парков и скверов увеличивается доля категории «усыхающие» на 2,6 и 1,5 %, соответственно, однако особи категорий

«сухостой» встречаются реже, по-видимому, это связано со своевременной вырубкой сухостоя.

Условия произрастания скверов и парков являются более благоприятными для произрастания древесной растительности, чем условия магистралей. Особи категорий «без признаков ослабления» и «ослабленные» составляют в парках и скверах около 52 %, в магистральных посадках – 35,9 %. Стоит отметить, что в парках и скверах отмечалось наибольшее число сухостойных деревьев, причиной гибели которых является не только естественная старость, но и поражение различными патогенными микроорганизмами. Сухостойные деревья не только портят облик городских насаждений, но и являются активными распространителями заболеваний и вредителей.

Выводы по главе:

1. На основании проведенной инвентаризации установлено, что в обследованных насаждениях г. Красноярска произрастает 54 вида древесной растительности, которые относятся к 39 родам и 18 семействам. Несмотря на довольно богатый видовой ассортимент представленных в озеленении видов, около 50 % насаждений составляют пять видов: *Acer negundo*, *Populus balsamifera*, *Ulmus pumila*, *Malus domestica* и *M. baccata*, что свидетельствует о низком уровне декоративно-эстетических свойств изученных насаждений. Из хвойных пород наиболее распространены *Picea obovata* и *Larix sibirica*. Наибольшую долю участия во всех типах насаждений г. Красноярска получили интродуценты флоры Европы и Дальнего Востока.

2. Анализ возрастной структуры зеленых насаждений г. Красноярска, выявил что 42,7 % особей, подвергшихся обследованию относятся к категории «средневозрастные генеративные деревья», что свидетельствует о старении зеленого фонда города. Выявлена тенденция изменения видового состава городских насаждений. С одной стороны наблюдается тенденция снижения доли участия доминантных видов - *Populus balsamifera* и *Ulmus*

pumila, о чем свидетельствует преобладание в их возрастном спектре средневозрастных генеративных деревьев и низкая представленность виргинильных и молодых генеративных особей. С другой - в настоящее время в озеленительные посадки вводится много инорайонных видов, которые представлены в основном виргинильными и молодыми генеративными деревьями, целесообразность и перспективность которых предстоит еще выяснить.

3. На основании показателя относительного жизненного состояния насаждений (L_n) выявлено, что урбопопуляции широко распространенных во всех категориях городских насаждений видов соответствуют двум категориям жизненного состояния насаждений - сильно поврежденные (III) и слабо поврежденные (II). Из лиственных пород наиболее низкими показателями жизнестойкости характеризуются насаждения *Populus balsamifera* и *Ulmus pumila*, а из хвойных пород *Picea obovata* и *Pinus silvestris*. Жизненное состояние уличных насаждений г. Красноярска соответствует категории сильно ослабленные, парков и скверов – как ослабленное.

4. Ограниченность видового состава, старение зеленого фонда, низкая жизнестойкость доминантных видов обуславливают необходимость оптимизации зеленых насаждений города.

5 ЭКОЛОГО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ Г. КРАСНОЯРСКА

Древесные растения по-разному переносят как комплекс абиотических факторов среды, так и экстремальные условия города. В условиях повышающегося антропогенного воздействия растения вынуждены адаптироваться к нему с помощью физиолого-биохимических, ультраструктурных и анатомо-морфологических перестроек. Поэтому фиксация и оценка этих изменений даёт достоверную картину условий места произрастания и отражает состояние растений.

В последние 20-30 лет в оценке состояния получил признание морфофизиологический подход, выявляющий реакции растений на фитотоксиканты, и позволяющий установить механизмы структурно-функциональных повреждений деревьев ещё без видимых признаков поражения (Неверова, Колмогорова, 2003, Бухарина и др., 2007).

Для оценки целесообразности и эффективности использования в озеленении г. Красноярска таких наиболее активно применяемых в последние два десятилетия видов как *Betula pendula*, *Padus maackii*, *Tilia cordata* и *Malus baccata*, проведен комплексный анализ их состояния и адаптационного потенциала в различных типах насаждений. Для комплексной характеристики использовали несколько методов оценки состояния каждой особи: визуальный, биометрический и физиологический.

5.1 Оценка условий произрастания древесных растений на объектах исследования

Как известно, степень антропогенного воздействия на растения, во многом определяется всем комплексом условий произрастания. В данной работе проведено изучение эколого-физиологических особенностей *Betula pendula*, *Malus baccata*, *Tilia cordata* и *Padus maackii* в составе городских

насаждений, расположенных в разных районах города: Октябрьском, Советском, Ленинском, Центральном и относящихся к двум категориям функционального назначения: общего пользования (ЦПКиО им М. Горького, парк «Троя», парк «Гвардейский», сквер «Космонавтов», сквер «Семейный») и специального назначения (на проспектах Мира, Свободный и Красноярский рабочий). Зоной условного контроля служили насаждения, произрастающие в благоприятных условиях с незначительным техногенным воздействием (Дендрарий Института леса СО РАН).

К сожалению, ввиду отсутствия в открытом доступе данных о количественном и качественном составе загрязнителей по районам города, произвести экологическое районирование г. Красноярска по уровню техногенной нагрузки не представлялось возможным.

Однако, анализируя данные по загрязнению атмосферы г. Красноярска за двенадцатилетний период (п. 2.2, рис. 2.2) было выявлено, что в среднегодовых суммарных выбросах, загрязняющих атмосферу города веществ, большую долю составляют выбросы от передвижных источников (42 %), что только на 16 % ниже выбросов от стационарных источников. А это означает, что на территориях, находящихся в районах, не имеющих промышленных производств, степень загрязнения будет определяться близостью к автомагистралям.

Об уровне влияния выбросов автотранспорта на экологическую обстановку отдельных территорий в районах города можно судить по данным загруженности транспортной системы. На рисунке 5.1 представлены данные сервиса Яндекс.Пробки отражающие ежедневную ситуацию на дорогах города в утренние (7.00-9.00 ч) и вечерние часы пик (17.00-19.30 ч).

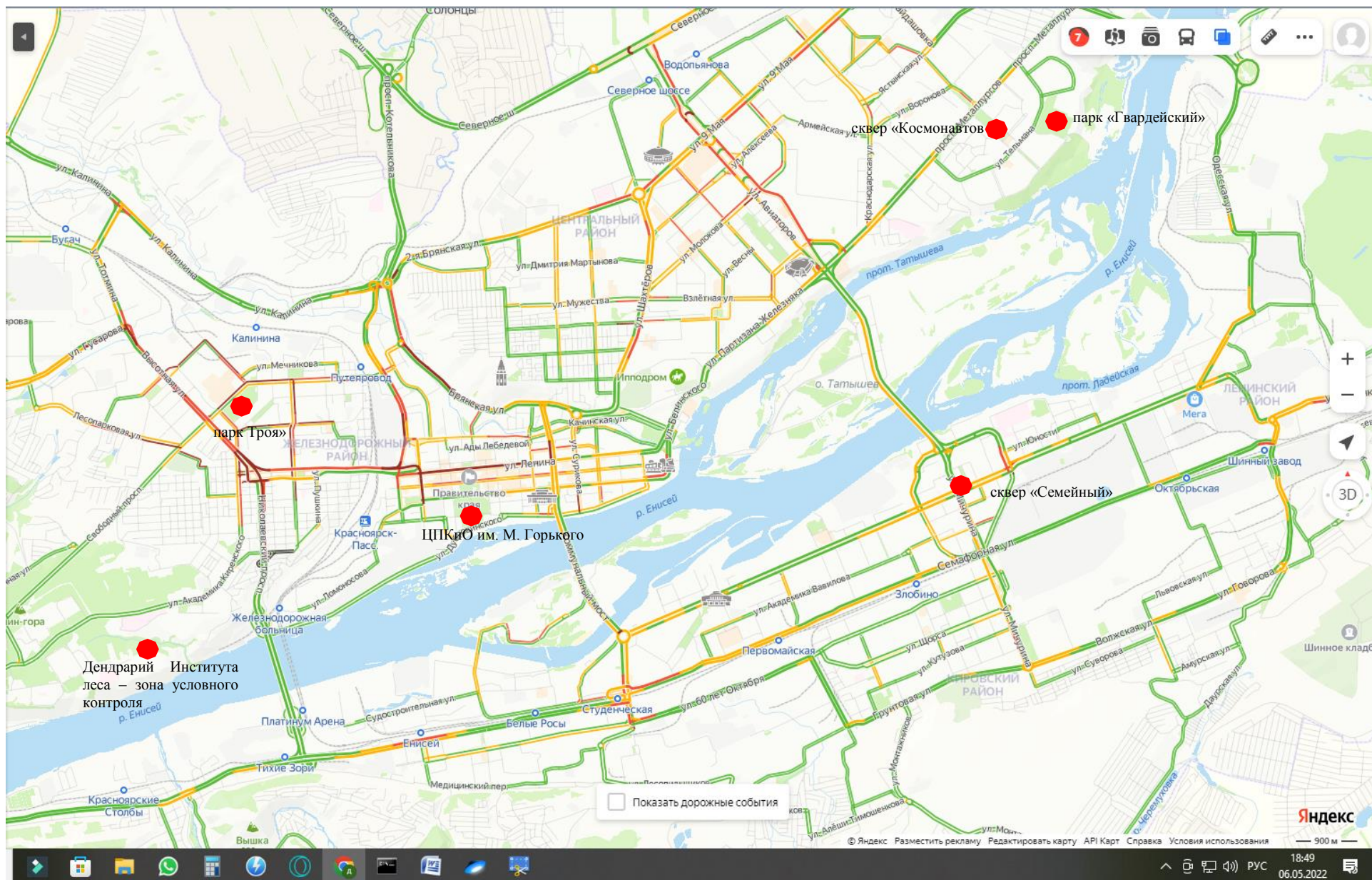


Рисунок 5.1 – Данные портала Яндекс.Пробки на 6 мая 2022 г. по загруженности транспортной системы города

Как видно из рисунка напряженная дорожная ситуация, обуславливающая высокую концентрацию выбросов от автотранспорта, складывается в Октябрьском (пр. Свободный) и Центральном (ул. Ленина, пр. Мира, пр. Карла Маркса) районах, в которых как раз отсутствуют промышленные производства. Поэтому Парк «Троя», расположенный в непосредственной близости к пр. Свободный и ЦПКиО им. М. Горького, примыкающий к пр. Карла Маркса находятся в условиях автотранспортного загрязнения. В свою очередь пробные площади, удаленные от основных транспортных артерий района, расположены в зоне влияния предприятий цветной металлургии (парк «Гвардейский» и сквер «Космонавтов»), химической промышленности и теплоэнергетического комплекса (сквер «Семейный»).

Кроме того, необходимо учитывать и специфические условия расположения г. Красноярска в котловине вдоль р. Енисей, где выбрасываемые в атмосферу поллютанты перемешиваются и скапливаются, создавая общий фон загрязнения. Так, в 2019 году режим «черного неба» действовал 13 суток, в 2020 – 20 суток, в 2021 – 25 суток, в январе-феврале 2022 года - 13 суток (Оповещения о наступлении НМУ..., 2022).

Все вышеизложенное дает нам основание для объединения всех исследованных территорий по степени антропогенного влияния на две категории: с высокой степенью воздействия (насаждения магистралей) и средней (насаждения парков и скверов).

На всех выделенных территориях в составе насаждений были определены модельные деревья, которые были подвергнуты детальному исследованию.

Краткая характеристика модельных деревьев и условий их произрастания представлена в таблице 5.1.

Таблица 5.1 – Таксационные показатели и условия произрастания модельных деревьев

Функциональная зона	Место произрастания	Показатели модельных деревьев	<i>Betula pendula</i>	<i>Padus maackii</i>	<i>Tilia cordata</i>	<i>Malus baccata</i>
Парки и скверы	ЦПКиО им. М. Горького	H, м	18,5±1,43	13,8±1,89	8,8±1,09	4,8±1,18
		D, см	17,4±1,93	12,3±3,42	7,6±1,75	4,3±1,40
		тип посадки	группа	группа	рядовая	группа
		условия произрастания	газон	газон	газон	газон
	парк «Троя»	H, м	13,5±1,51	10,9±1,71	8,8±1,55	5,4±1,26
		D, см	12,4±3,50	9,2±1,93	7,9±3,07	4,8±1,03
		тип посадки	группа	группа	группа	группа
		условия произрастания	газон	газон	газон	газон
	парк «Гвардейский»	H, м	10,1±1,91	10,6±1,65	9,0±1,36	5±1,08
		D, см	9,8±2,69	8,9±3,05	8,1±2,89	4,3±1,93
		тип посадки	группа	группа	группа	группа
		условия произрастания	газон	газон	газон	газон
	сквер «Космонавтов»	H, м	16,4±1,36	16,5±1,32	7,3±1,98	6,2±1,54
		D, см	15,8±3,19	14,8±2,28	7,8±3,01	4,2±2,07
		тип посадки	группа	группа	группа	группа
		условия произрастания	газон	газон	газон	газон
	сквер «Семейный»	H, м	12,2±1,61	13,7±1,28	-	5,9±1,74
		D, см	10,3±2,18	12,1±3,15	-	4,2±1,05
		тип посадки	группа	группа	-	группа
		условия произрастания	газон	газон	-	газон
Магистральные посадки	пр. Мира	H, м	13,3±1,44	10,5±1,32	5,8±1,67	7,2±1,14
		D, см	10,8±2,86	9,3±2,63	5,4±2,45	6,2±2,38
		тип посадки	рядовая	рядовая	рядовая	рядовая
		условия произрастания	лунка 1*1м ²	лунка 1*1м ²	лунка 1*1м ²	лунка 1*1м ²
	пр. Свободный	H, м	18,8±1,68	12,7±1,35	-	4,9±1,03
		D, см	18,1±3,17	9,9±2,84	-	4,2±1,41
		тип посадки	рядовая	рядовая	-	рядовая
		условия произрастания	полоса газона	черный пар полоса	-	полоса газона
	пр. Красноярский рабочий	H, м	10,5±1,89	11,3±1,53	-	5,9±1,61
		D, см	7,8±2,61	9,5±2,70	-	3,9±2,45
		тип посадки	рядовая	группа	-	группа
		условия произрастания	полоса газона	полоса газон	-	полоса газона
Зона условного контроля	Академгородок	H, м	21,6±1,17	12,2±1,69	20,9±1,37	5,9±1,33
		D, см	20,2±4,13	11,2±1,14	19,4±3,13	4,9±1,75
		тип посадки	группа	группа	группа	группа
		условия произрастания	газон	газон	газон	газон

Как видно из данных таблицы, материал исследований представлен двумя основными типами насаждений – групповыми, характерными

преимущественно для насаждений парков и скверов, и рядовыми – преобладающими в насаждениях магистралей. Стоит отметить, что подобрать в разных категориях городских насаждений модельные особи одинаковыми по ряду параметров (высота, диаметр, возраст, условия освещенности, почвенные условия, шаг посадки и пр.) не представляется возможным, поэтому объединяющим параметром в данных исследованиях служит онтогенетический возраст насаждений – все модельные деревья относятся к возрастной категории «средневозрастные генеративные деревья».

Условия произрастания изученных категорий городских насаждения существенно отличаются. Магистральные посадки, как правило, характеризуются более жестким комплексом факторов среды, действующим на растительность. Прежде всего, это связано с тем, что древесные растения, произрастающие в насаждениях улиц, оказываются в зоне прямого непосредственного воздействия высоких концентраций токсикантов, поступающих с выхлопными газами автомобилей. Нами была определена интенсивность движения на проспектах (Федорова, Никольская, 2001). Изученные магистрали характеризуются «высокой» (пр. Мира и пр. Свободный) и «очень высокой» (пр. Красноярский рабочий) интенсивностью движения. Известно (Дьяков, 1989), что отработанные газы автомобилей содержат около 200 веществ, среди которых больший удельный вес имеют оксид углерода, окислы азота (NO , NO_2), углеводороды (C_xH_y), альдегид, сажа, соединения свинца и бенз(а)пирен, обладающие токсическим действием на растительность. Наибольшее количество выбросов наблюдается в начале движения и во время торможения транспорта, поэтому перекрестки, светофоры, остановки общественного транспорта являются очагами повышенного содержания вредных веществ, как в воздухе, так и почве. Кроме того, автомобильная загазованность зависит от степени продуваемости улиц и кварталов. Ориентирование улиц относительно господствующих ветров способствует лучшей продуваемости, и, соответственно, рассеиванию загрязняющих веществ, в противном случае,

улицы являются локальными аккумуляторами смога (Природный комплекс большого города, 2000). Отобранные для исследования в насаждениях парков и скверов модельные деревья располагались на расстоянии более 20 м от магисталей, вне зоны прямого влияния выбросов автотранспорта.

Почвенно-гидрологические условия уличных насаждений также отличаются от условий насаждений общего пользования в худшую сторону. В магистральных посадках у древесных растений, особенно крупных, уменьшается площадь питания, поскольку по существу, они растут в условиях кадочной культуры – в лунках площадью не более 1-1,5 м², ограниченные на поверхности либо асфальтовым покрытием, либо брусчаткой, а в нижних горизонтах - подземными коммуникациями. Наличие тротуарных покрытий препятствует непосредственному попаданию влаги к корневым системам, ухудшают аэрацию почв, теплопроводность, угнетают деятельность микроорганизмов. Использование противогололедных реагентов приводит к искусственному засолению почв, провоцируя развитие «физиологической засухи». Все это делает невозможным нормальное развитие корневых систем растений, а, следовательно, и всего растительного организма.

В уличных насаждениях формируется и своеобразный световой режим. Тесная многоэтажная застройка приводит к затенению растительности стенами рядом расположенных зданий, вследствие чего они испытывают недостаток света. Дополнительное освещение в утренние и вечернее и ночное время, сказывается на фотопериодических реакциях и приводит к нарушению естественных биологических ритмов растительности.

Из всего вышесказанного следует, что в урбосреде формируются условия с разным сочетанием и концентрацией действующих на растения факторов. Следовательно, это требуют различных подходов к организации зеленых насаждений, прежде всего связанных с подбором ассортимента видов для озеленительных посадок, обладающих как устойчивостью к

существующим условиям среды, так и имеющих жизненный потенциал для ее стабилизации и улучшения.

5.2 Визуальная оценка

Состояние древесных растений отражает их ответную реакцию на комплексное воздействие факторов среды (Алексеев, 1989; Николаевский, Николаевская, Козлова, 1999; Бухарина, Двоеглазова, 2010).

Учитывая, что стрессирующее действие техногенной среды воздействует, прежде всего, на ассимиляционный аппарат растений, большой интерес представляет регистрация изменений органов ассимиляции, которые вследствие интенсивного газообмена поглощают и концентрируют загрязняющие вещества.

Для более детального анализа морфологических изменений кроны *Betula pendula*, *Padus maackii*, *Tilia cordata* и *Malus baccata* была использована методика визуальной оценки состояния древесных растений по В.С. Николаевскому (Николаевский и др., 1999).

Как показали проведенные исследования, в условиях техногенной среды происходит снижение жизненного состояния у всех изученных видов. Это обусловлено уменьшением облиственности крон, увеличением количества поврежденных листьев (ржавчина, пятнистости, некрозы, повреждения энтомовыми вредителями и пр.), и, как следствие, снижением живой площади листовых пластинок (таблица 5.2, рисунок 5.2).

Таблица 5.2 – Состояние ассимиляционного аппарата и крон некоторых видов древесных растений в г. Красноярске

Вид древесного растения	Условия произрастания	Процент живых ветвей в кронах, %	Степень облиственности крон, %	Процент живых (без повреждений) листьев, %	Средний процент живой площади листа, %
1	2	3	4	5	6
<i>Betula pendula</i>	парки и скверы	91,3±1,87	92,5±1,82	89,8±1,82	90,5±1,24
	магистралей	89,3±1,95	88,9±2,53	79,6±2,41	80,3±2,29
	контроль	91,5±2,42	98,5±2,42	98,0±2,58	98,5±2,42
<i>Padus maackii</i>	парки и скверы	88,7±3,43	82,1±3,96	78,9±1,87	87,8±3,03
	магистралей	82,1±2,73	81,6±2,54	69,7±2,51	79,1±3,15
	контроль	90,5±2,84	92,5±2,64	83,5±3,37	90,5±3,69

1	2	3	4	5	6
<i>Tilia cordata</i>	парки и скверы	81,6±1,63	82,0±1,70	72,0±3,10	72,5±1,89
	магистралей	81,5±2,42	77,7±2,91	49,0±2,11	62,5±2,64
	контроль	82,0±2,58	93,0±2,58	89,0±3,16	91,5±3,37
<i>Malus baccata</i>	парки и скверы	69,4±2,54	68,5±2,57	60,3±1,99	68,5±2,84
	магистралей	69,0±2,20	48,3±2,89	58,7±1,55	62,3±2,51
	контроль	77,5±2,64	71,0±2,42	79,5±2,84	70,7±2,42

Были выявлены видовые отличия в реакции растений на загрязнение среды.

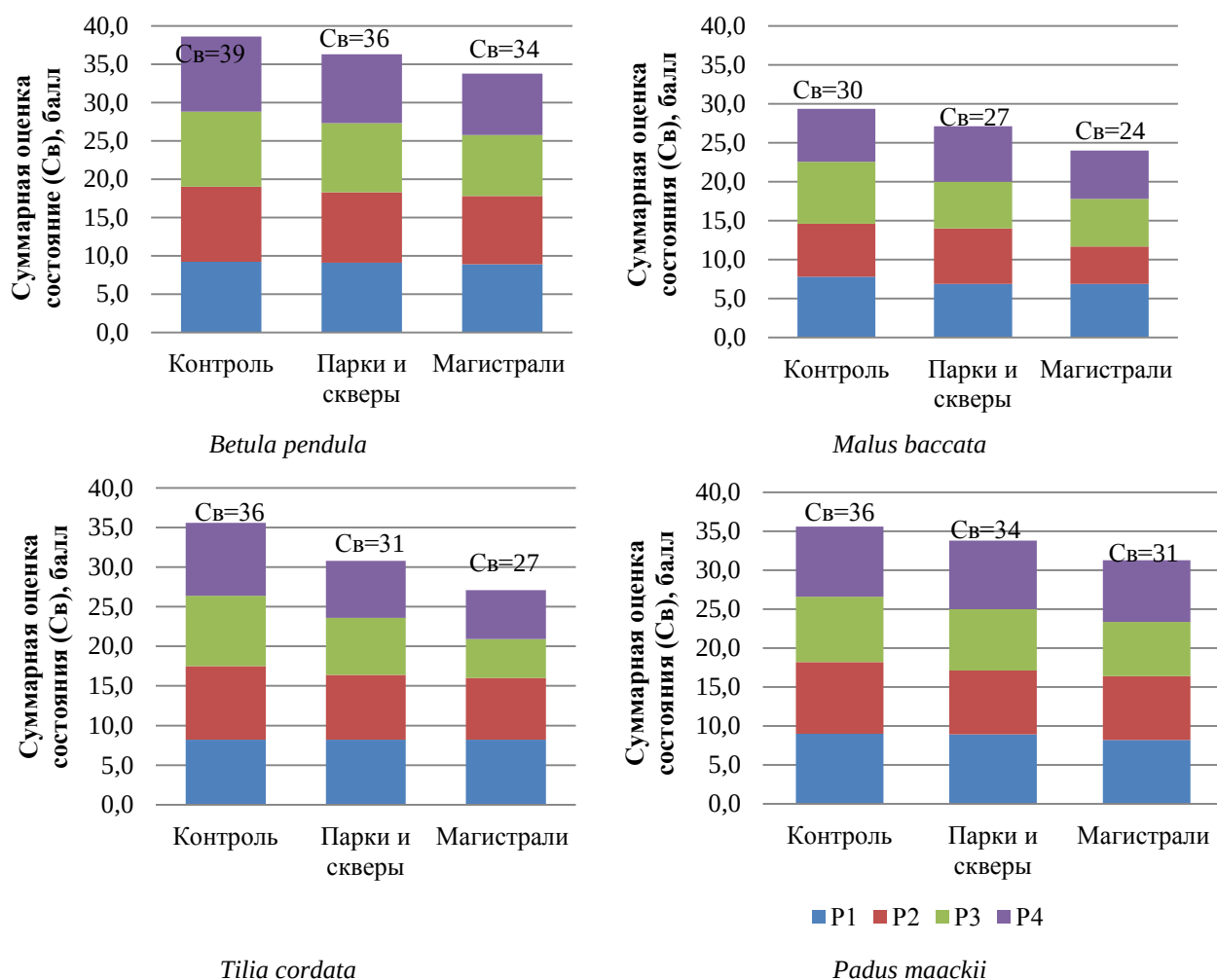


Рисунок 5.2 - Жизненное состояние древесных растений в условиях г. Красноярска (по методике Н. С. Николаевского): P_1 – количество живых ветвей в кронах деревьев, P_2 – степень облиственности крон, P_3 – количество живых (без повреждений) листьев, P_4 – среднее количество живой площади листа

Среди изученных видов высокий суммарный балл жизненного состояния был у *Betula pendula*. В насаждениях парков состояние данного вида оценено как «удовлетворительное» ($C_v = 36$ б), в магистральных же

посадках оно снижалось до «ослабленного» ($C_b = 34$ б) за счет уменьшения степени облиственности крон, увеличения количества поврежденных листьев и уменьшения живой площади листа.

Состояние *Padus maackii* в условиях городской среды характеризуется как «ослабленное». Относительно контроля снижение жизненности вида в насаждениях парков и скверов обусловлено сокращением степени облиственности крон (на 10 %). В магистральных же посадках увеличивается количество поврежденных листьев (на 13,8 %), снижается живая площадь листа (на 11,4 %) и облиственность кроны (на 11 %).

У *Tilia cordata* жизненное состояние оценено как «удовлетворительное» в контроле, еще больше снижается в парках и скверах до «ослабленного», а в магистральных посадках – уже до «сильно ослабленного». В уличных насаждениях у данного вида наблюдается резкое увеличение количества поврежденных некрозами листьев (на 40 %) относительно контроля, и поврежденной площади листа (на 29 %), что является результатом использования песчано-солевых смесей в зимний период, к которым данный вид проявляет особую чувствительность.

Самые низкие показатели жизненности отмечаются у *Malus baccata*. В ходе исследований было установлено, что данный вид в условиях города сильно подвержен поражению энтомофитовыми вредителями, которое усугубляется техногенным воздействием и приводит к снижению жизненности данного вида. В условиях насаждений парков и скверов состояние данного вида оценивается как «сильно ослабленное» ($C_b = 27$ б), в магистральных посадках – как «критическое» ($C_b = 24$ б). Относительно зоны контроля в магистральных посадках на 23 % снижается облиственность крон и на 21 % увеличивается количество поврежденных листьев в них.

Таким образом, оценка жизненного состояния видов показала, что техногенная среда города приводит к ухудшению их общего состояния. У всех изученных видов наблюдается снижение показателей развития кроны и ассимиляционного аппарата, что сказывается на декоративно-эстетических

свойствах насаждений. Видовые отличия проявились в различной чувствительности показателей состояния кроны к антропогенному воздействию. На основании визуальной оценки состояния ассимиляционного аппарата исследуемые виды можно распределить по степени устойчивости к загрязнению среды следующим образом: *Betula pendula* > *Padus maackii* > *Tilia cordata* > *Malus baccata*.

5.2 Биометрические показатели

Одним из интегральных показателей, отражающих жизненное состояние растительности, является интенсивность вегетативного роста. К числу доступных, легко воспроизводимых и информативных показателей роста и развития растений относят морфометрические показатели побегов и ассимиляционного аппарата растений (Кулагин, 1985; Николаевский, 2002; Неверова, Николаевский, 2003; Колмогорова, 2016).

Воздействие техногенных эмиссий на древесные растения является одним из факторов ухудшения их морфоструктурных параметров. Показано, что у растений, произрастающих в условиях атмосферного загрязнения одним из проявлений общей ответной реакции фотосинтетического аппарата является ксерофитизация ассимиляционных органов, вызванная подавлением фазы растяжения клеток из-за недостатка ассимилянтов, и, возможно, нарушения гормональной регуляции роста (Фролов, 1998; Николаевский, 1998). На органогенном уровне явление ксероморфоза проявляется в уменьшении размеров листьев, их утолщении, уменьшении размеров всех тканей листа, увеличении количества устьиц на 1 мм² и пр., на организменном – в изменении структуры, форм и размеров кроны, показателей прироста в высоту и по диаметру, интенсивности побегообразования и пр. (Николаевский, 1983; Сергейчик, 1984; Кулагин, 1985; Артамонов, 1986; Зубарева, 1993; Ярмишко, 1996; Авдеева, 2000, 2006, 2007; Матяшенко, Белоголова, 2001; Неверова, Колмогорова, 2003; Павлов,

2006; Бухарина и др., 2007, 2010, 2012; Колмогорова, 2012, 2013, 2016, Виноградова, 2016). Следовательно, меньшая функциональная активность ассимиляционного аппарата приводит к снижению продуктивности городских зеленых насаждений и в определенной мере служит причиной их угнетенного роста и преждевременного старения (Неверова, Колмогорова, 2003).

Необходимо отметить, что ксерофитизацию ассимиляционного аппарата растений могут вызывать и другие неблагоприятные факторы среды – недостаток влаги, избыточная освещенность, недостаток минеральных веществ и пр. (Василевская, 1965; Фролов, 1978). Поскольку в городской среде растения зачастую вынуждены мириться с условиями недостаточного увлажнения, А. К. Фролов (1998) считает, что ксероморфоз листьев способствует адаптации растений к водному дефициту, способствуя более экономному расходу влаги растениями.

В научной литературе имеются данные о том, что в условиях техногенного загрязнения, у некоторых древесных растений наблюдается увеличение морфометрических показателей годичных побегов. (Туртухаметова, 2006; 2020; Бухарина, Поварницына, Ведерников, 2007; Ведерников, 2010; Хикматуллина, 2013). Это обусловлено, с одной стороны, способностью невысоких концентраций некоторых видов и комбинаций загрязняющих веществ, содержащихся в атмосфере городов, при проникновении в клетку, выступать в качестве активаторов цикла деления меристематических клеток, с другой - специфическими климатическими условиями городской среды (в частности более высокими температурами) (Полевой, Салматова, 1991; Васфилов, 2003, Вострикова, 2005; Бухарина и др., 2007; Ведерников, Бухарина, 2010; Формирование морфологических структур, 2012; Хикматуллина, 2013).

Таким образом, становится очевидным, что изменения морфометрических показателей побегов древесных растений под влиянием техногенного загрязнения обусловлены не только степенью устойчивости

видов, но и зависят от специфики состава выбросов и их концентрации, а также природно-климатических факторов. В этой связи рекомендации по использованию видов растений в зеленом обустройстве города могут быть даны только с учетом природно-климатических и экологических условий конкретного региона.

Одной из задач настоящих исследований было изучение морфометрических параметров годичных побегов *Betula pendula*, *Padus maackii*, *Tilia cordata* и *Malus baccata*. При этом анализировали следующие показатели: прирост годичных побегов, количество листьев на годичном побеге; площадь листьев; сырая и сухая масса листьев.

Для оценки влияния условий произрастания на изученные показатели роста и развития годичных побегов использовали однофакторный дисперсионный анализ. Установлено, что изменение морфометрических показателей побегов исследуемых видов на 91-99 % обусловлено условиями произрастания и высоко достоверно ($p < 0.05$) (таблица 5.3). Для оценки существенности разностей между средними использовался метод наименьшей существенной разницы (НСР) (Приложение А) (Шмидт, 1984; Доспехов, 1985).

Таблица 5.3 – Достоверность и доля влияния условий произрастания на морфометрические показатели годичных побегов древесных растений (по результатам однофакторного дисперсионного анализа)

Морфометрические параметры	Вид древесного растения							
	<i>Betula pendula</i>		<i>Padus maackii</i>		<i>Malus baccata</i>		<i>Tilia cordata</i>	
	<i>P-Значение</i>	<i>Доля влияния</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Доля влияния</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Доля влияния</i>	<i>P-Значение</i>	<i>Доля влияния</i>
Длина годичного побега	$3,06 \cdot 10^{-25}$	0,98	$9,36 \cdot 10^{-27}$	0,99	$3,93 \cdot 10^{-28}$	0,99	$8,06 \cdot 10^{-29}$	0,99
Количество листьев на годичном побеге	$1,87 \cdot 10^{-15}$	0,92	$4,99 \cdot 10^{-16}$	0,93	$1,71 \cdot 10^{-21}$	0,97	$1,15 \cdot 10^{-16}$	0,93
Сырая масса листа	$4,36 \cdot 10^{-15}$	0,91	$8,59 \cdot 10^{-22}$	0,97	$2,80 \cdot 10^{-21}$	0,97	$5,53 \cdot 10^{-19}$	0,96
Сухая масса листа	$1,34 \cdot 10^{-15}$	0,92	$1,06 \cdot 10^{-22}$	0,98	$1,07 \cdot 10^{-25}$	0,99	$4,16 \cdot 10^{-26}$	0,99
Площадь листа	$1,60 \cdot 10^{-20}$	0,97	$2,76 \cdot 10^{-30}$	0,99	$8,82 \cdot 10^{-32}$	0,99	$8,39 \cdot 10^{-28}$	0,99

В результате проведенных исследований выявлено, что у исследуемых древесных растений в условиях урбосреды изменяются все анализируемые показатели годичного побега, причем у особей, произрастающих в магистральных посадках, эти изменения выражены в большей мере относительно особей, произрастающих в парках и скверах (рисунок 5.3-5.7).

Под воздействием техногенного загрязнения происходит сокращение прироста годичных побегов исследуемых видов. Так, в магистральных насаждениях относительно зоны контроля отмечается снижение длины побега *Malus baccata* на 45,1 %, *Tilia cordata* – на 41,1 %, *Padus maackii* – на 38,5 %, у *Betula pendula* – на 33,8 %, в парках и скверах – на 37,7; 36,4; 37,3; и 22,9 %, соответственно (рисунок 5.3).

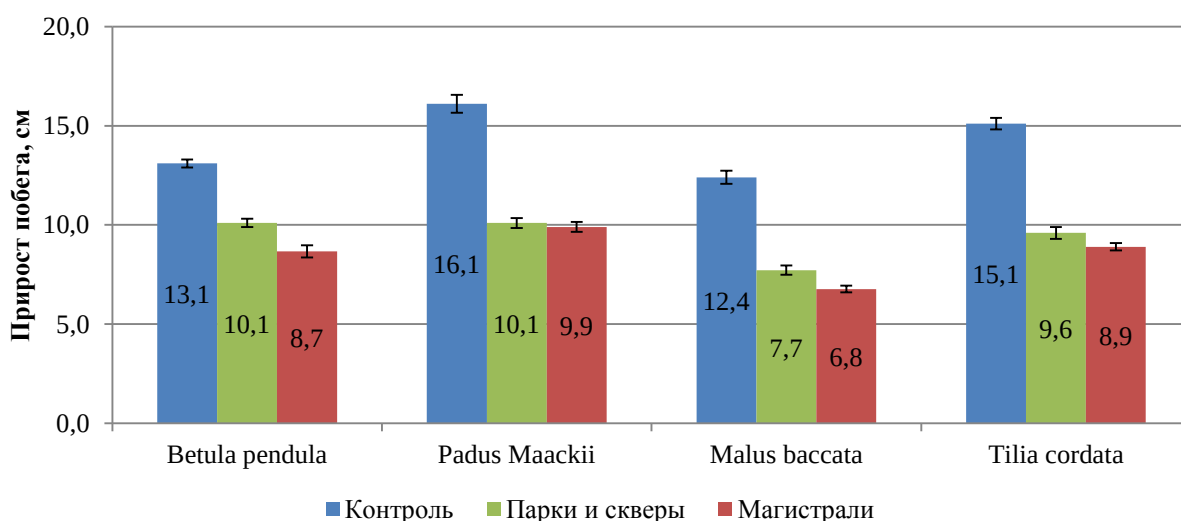


Рисунок 5.3 – Длина годичного побега древесных растений, произрастающих в различных функциональных зонах г. Красноярск, см

Сокращение прироста годичного побега у исследуемых видов сопровождается уменьшением его структурных элементов – числа листьев на побеге (рисунок 5.4). В большей мере это выражено у особей *Malus baccata* и *Padus maackii*. Количество листьев на побеге у данных видов снижается в магистральных посадках на 34,1 и 34,2 % соответственно, в парках и скверах – на 28,2 и 25,0 % соответственно, относительно контроля.

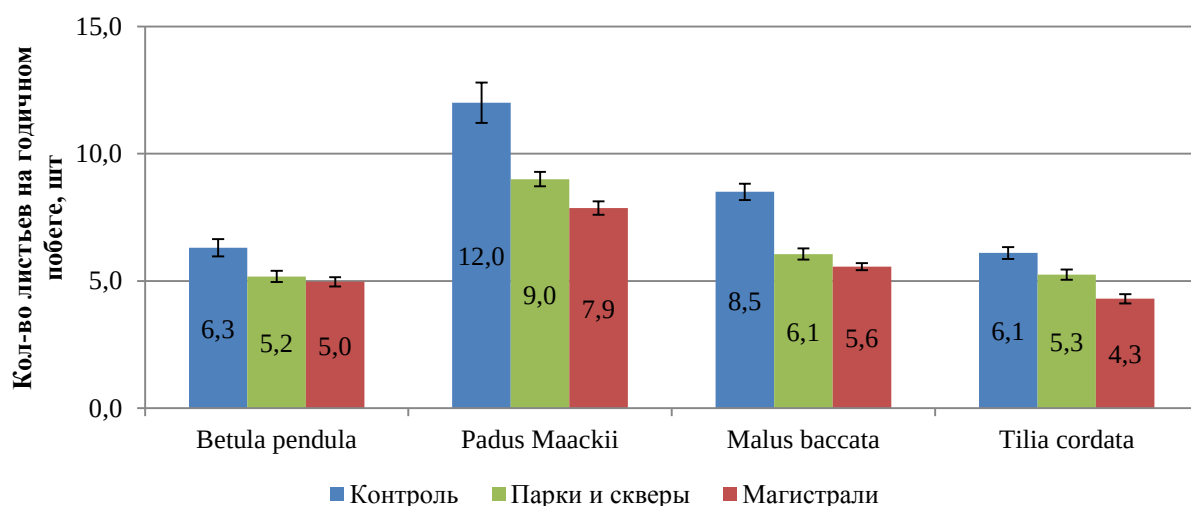


Рисунок 5.4 – Количество листьев на годичном побеге древесных растений, произрастающих в различных функциональных зонах г. Красноярска, шт

Анализ площади листьев годичного побега древесных пород показал «классическую» реакцию ксероморфности листовой пластинки под воздействием техногенеза (рисунок 5.5).

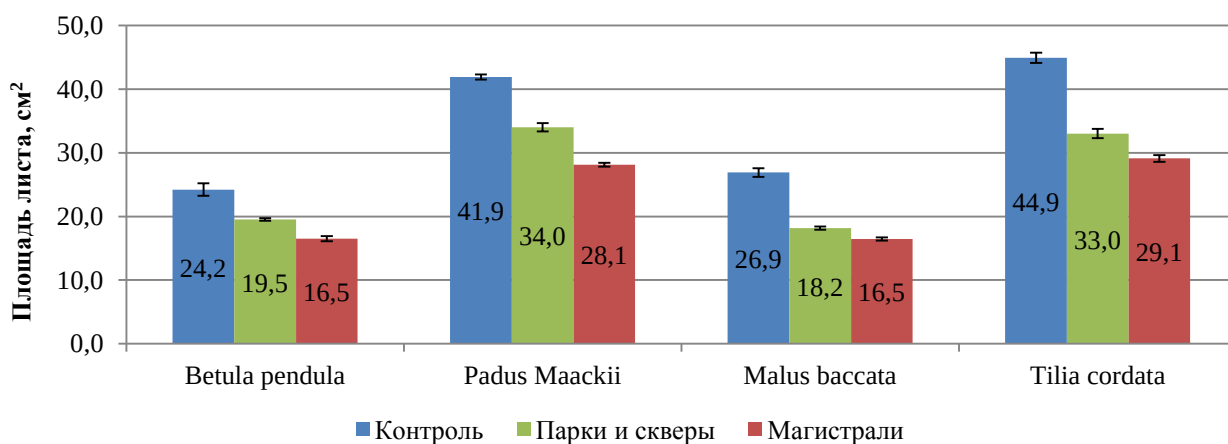


Рисунок 5.5 - Площадь листьев на годичном побеге древесных растений, произрастающих в различных функциональных зонах г. Красноярска, см²

В условиях городской среды отмечается снижение площади листьев годичного побега относительно данных контроля: в насаждениях парков и скверов - на 18,9...32,5 %, в магистральных посадках – на 31,8...38,8 %. Из изученных видов максимальное снижение площади листьев отмечается у *Malus baccata* и *Tilia cordata* в парковых насаждениях – на 32,3 и 26,5 %, в

магистральных - на 38,6 и 35,2 %, соответственно, в сравнении с данными контроля.

Урбанизированная среда оказывает влияние на параметры сырой и сухой массы листьев годовичного побега (рисунок 5.6, 5.7). Низкие показатели сырого веса листьев исследуемых видов наблюдаются в магистральных посадках, чему дополнительно способствует тот факт, что большая часть тротуаров в г. Красноярске покрыта либо асфальтом, либо брусчаткой – водонепроницаемыми материалами, способствующими стеканию воды в ливневую сеть и тем самым препятствующим ее проникновению в почву. Для дерева выделяется небольшой посадочное место, размером не более 0,5×0,5 м, куда влага может проникать свободно, однако такой «скромный» участок открытой почвы, отведенный растению, не способен покрыть его потребности в воде, в результате чего растительность магистралей находится в условиях хронического водного дефицита.

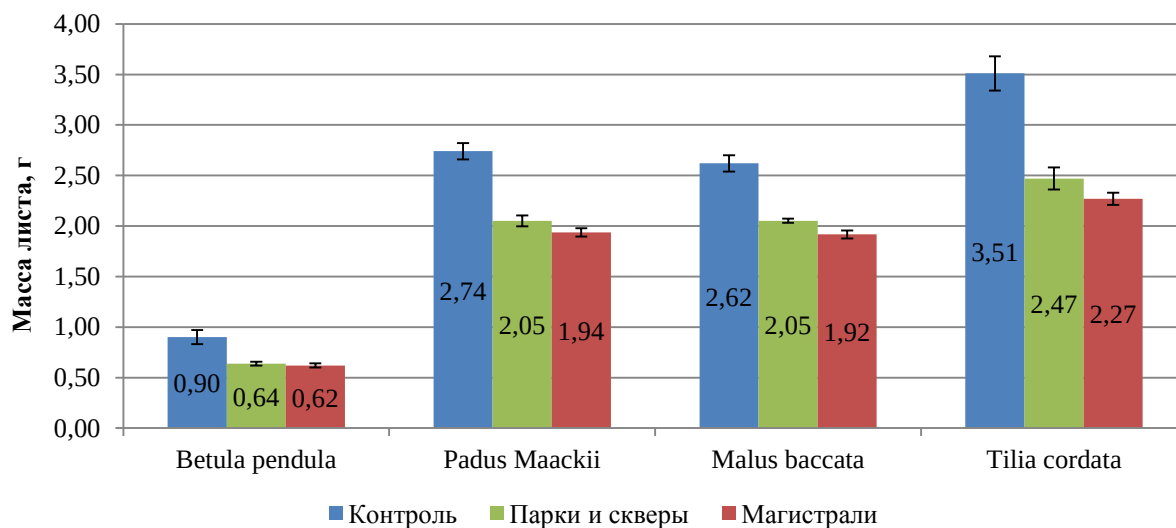


Рисунок 5.6 – Сырая масса листьев на годовичном побеге древесных растений, произрастающих в различных функциональных зонах г. Красноярска, г

Таким образом, в магистральных насаждениях сырая масса листьев относительно данных контроля снижается в пределах от 26,7 % (*Malus baccata*) до 35,3 % (*Tilia cordata*), в парковых насаждениях – от 21,8 % (*Malus baccata*) до 29,6 % (*Tilia cordata*). Поскольку сырая масса листьев напрямую

зависит от содержащейся в них воды, был изучен показатель содержания воды в листьях исследуемых видов в различных условиях произрастания. Обнаружено, что в контрольных условиях наибольшее количество воды содержится в листьях *Padus maackii* (60,9 %), в то время как у остальных видов этот показатель варьировал от 31,6 % у *Tilia cordata* до 46,9 % у *Malus baccata*. Повышенное содержание воды у *Padus maackii*, по-видимому, связано с ее биологическими особенностями, поскольку в естественной среде обитания вид растет в долинах рек и ручьев (Булыгин, 1991, Абаимов, 2018). В условиях урбанизированной среды содержание воды в листьях всех исследованных видов снижается. Однако в сравнении с контрольным участком более всего снижается количество воды в листьях *Malus baccata* (на 13,6 %) и *Tilia cordata* (на 11,3 %) в условиях парков, и на 20 и 21 % в условиях магистралей соответственно. В листьях *Betula pendula* и *Padus maackii* - на 6,5 и 6,6 % в условиях магистральных посадок, соответственно. Следует отметить, что данный показатель также отражает степень ксерофитизации листьев, связанную с «физиологической сухостью» условий произрастания.

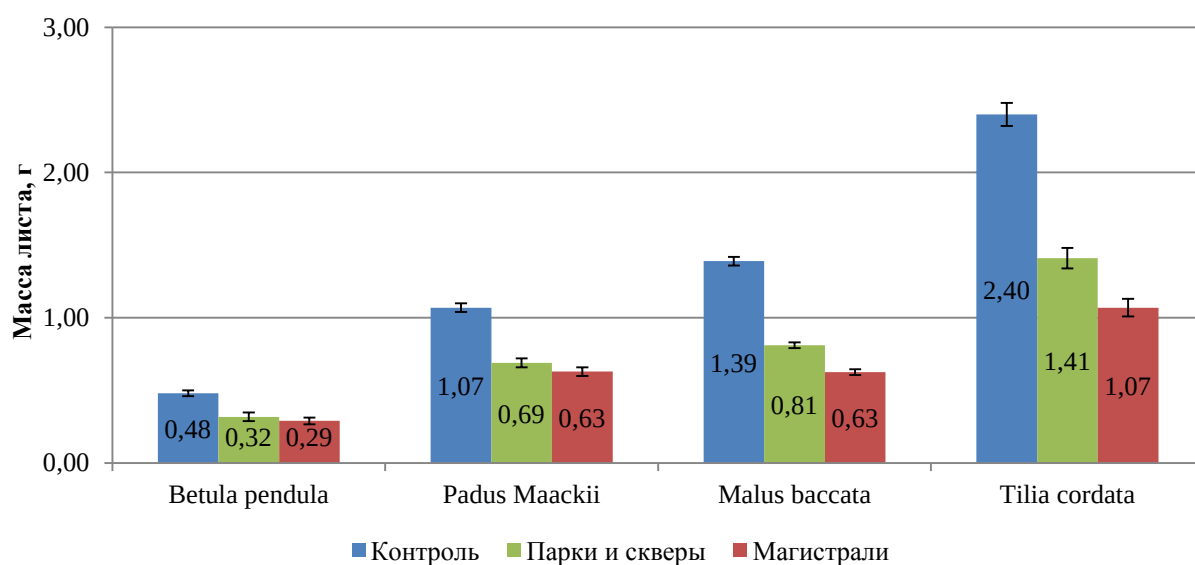


Рисунок 5.7 – Сухая масса листьев на годичном побеге древесных растений, произрастающих в различных функциональных зонах г. Красноярска, г

Накопление органического вещества листьями исследуемых видов, характеризующее интенсивность процесса фотосинтеза снизилось у особей, произрастающих в условиях городских насаждений. Так, относительно контроля в насаждениях парков и скверов и магистральных посадках сухая масса листьев годовичного побега у *Malus baccata* снижается на 41,7 и 54,6 %, у *Tilia cordata* – на 41,2 и 55,4 %, у *Padus maackii* – на 35,5 и 41,1 %, у *Betula pendula* – на 33,3 и 39,5 %, соответственно.

Анализируя изменения морфометрических показателей побегов исследуемых видов в условиях урбосреды, установлено, что снижение прироста годовичного побега влечет за собой изменение его структурных компонентов – количества и размеров листьев, и, как следствие, площади ассимиляционной поверхности. Как показали настоящие исследования, для сохранения фотосинтезирующей поверхности исследуемые виды применяют различные стратегии адаптации, причем с увеличением уровня техногенной нагрузки увеличивается и количество задействованных адаптационных механизмов.

Так, у *Tilia cordata*, произрастающей в насаждениях парков и скверов количество листьев на побегах снижается на 13,9 %, в то время как площадь листа – на 26,5 %, относительно контроля, следовательно, сохранение фотосинтезирующей поверхности у данного вида идет за счет количества листьев на побеге. Для *Padus maackii*, в парковых насаждениях отмечалась иная динамика: снижение количества листьев (на 25 % относительно контроля), в некоторой степени нивелируется их площадью (снижение площади листа относительно контроля составило 18,9 %). *Betula pendula* отличается минимальными изменениями морфометрических показателей годовичных побегов среди изученных видов, сохранение ассимиляционной поверхности данного вида в насаждениях парков и скверов обеспечивается практически в равной степени количеством (ниже на 17,8 % от контроля), и площадью листьев (ниже на 19,3 %).

В магистральных посадках, отличающихся наиболее суровыми условиями произрастания, реакция видов различается лишь по степени снижения ассимиляционной поверхности. Сильнее всего утрата ассимиляционной поверхности проявилась у *Malus baccata*: по количеству листьев - на 34,5% и по площади листьев – на 38,8%. У *Tilia cordata* и *Padus maackii* – на 29,5 и 35,2%; 34,4 и 32,9% соответственно. Более устойчивым видом проявила себя *Betula pendula*. Снижение количества и площади листа составило 21,2 и 31,8 % соответственно, что свидетельствует о высоких адаптационных возможностях данного вида.

Снижение ассимиляционной поверхности направленно действует на накопление сухой биомассы, которая, в свою очередь, считается одним из главных показателей фотосинтетической деятельности и продуктивности растений (Фотосинтетическая деятельность, 1961). Несмотря на то, что производительность и продуктивность зеленых насаждений городов не является их основной функцией, достижение оптимального сочетания их полезных функций (санитарно-гигиенических, эстетических, рекреационных и пр.) возможно только при сохранении фотосинтетической деятельности растений (Дубенок и др., 2018). Как показали настоящие исследования, из изученных показателей морфоструктуры побега, именно сухая масса листа подвержена наибольшему изменению под воздействием урбосреды. В условиях парков сухая масса листа снижалась от 33,8 до 41,6 %, а в насаждениях магистралей – от 39,6 до 55,4 %.

Подавление фотосинтетической активности ассимиляционного аппарата листьев может проявляться как через различные нарушения биохимических процессов внутри фотосинтезирующих клеток, так и вследствие уменьшения массы фотосинтезирующей ткани. Расчет показателей удельной массы листовой поверхности выявил тенденцию к ее снижению относительно контроля у исследованных видов в 1,1 – 1,3 раза в условиях парков и в 1,2 – 1,4 раза в магистральных посадках. Сильнее всего

уменьшился удельный вес фотосинтезирующей ткани у насаждений *Tilia cordata* (в 1,4 раза) и *Malus baccata* (в 1,3 раза) в магистральных посадках.

Таким образом, у изученных видов в условиях техногенной среды г. Красноярска наблюдается ксерофитизация морфологических структур, повышение водного дефицита, снижение удельной массы листа, нарушение ассимиляционных процессов, увеличивающихся с возрастанием уровня техногенной нагрузки. По степени нарушения морфометрических показателей годичного побега исследуемые древесные породы можно расположить в следующей последовательности: *Malus baccata* > *Tilia cordata* > *Padus maackii* > *Betula pendula*. Таким образом, *Malus baccata* и *Tilia cordata* можно отнести к неустойчивым видам в условиях техногенной среды г. Красноярска.

Таким образом, изученные морфометрические показатели годичного побега могут быть использованы в качестве объективного и доступного метода оценки состояния растительности на урбанизированных территориях.

5.3 Водоудерживающая способность листьев

Все физиологические процессы в растительном организме протекают лишь при его достаточном водообеспечении. Нормальное функционирование растительных клеток наблюдается при содержании в них воды на уровне 70-80 %, а у отдельных растений – до 90 % и более (Гуляженко, 1985; Чернышенко, 1996; Карасев, 2001).

Содержание воды в растительных тканях представляет собой исключительно изменчивую и динамическую величину, изменяющуюся под воздействием ряда процессов, протекающих в самом растении, а также под воздействием экзогенных факторов (Хмелевская, 2008).

В условиях урбанизированной среды, к числу важнейших факторов, оказывающих влияние на водообмен растений, относится промышленное загрязнение. Токсичные вещества, проникая в межклетники листа через

устьица, растворяются в воде, насыщающей оболочки клеток, и транспортируются в клетку, проходя через плазмалемму. В результате наблюдается снижение химического потенциала воды апопласта листьев, и, как следствие повышение химического потенциала воды симпласта, способствующее увеличению концентрации загрязняющих веществ в цитоплазме (Илькун, 1978; Крамер, Козловский, 1983; Васфилов, 2003). Многие промышленные газы (SO_2 , NO_x , Cl_2 , F_2) обладающие свойствами сильных окислителей, при контакте с клеточной мембраной способны вызывать ее свободное радикальное окисление. Стоит отметить, что окислительное разрушение биомембран клетки может быть вызвано и другими экстремальными условиями среды (низкие и высокие температуры, засоление почв, тяжелые металлы, инфекции и пр.) Окислительное разрушение мембраны проявляется в увеличении ее проницаемости, приводящее к быстрой потере воды листьями и нарушению многих физиолого-биохимических процессов (Илькун, 1971; Николаевский, 2002; Васфилов, 2003; Половникова, 2007; Бухарина, 2008).

Поддерживать гомеостаз клетки в условиях окислительного стресса позволяет согласованное функционирование мембранных систем — рецепторов, ферментов, транспортных механизмов. При этом огромное значение имеет структура мембран растительной клетки, которая определяет не только ее свойства и физиологическую активность, но и степень толерантности к стрессовым факторам (Николаевский, 1979, 2002; Физиология и биохимия, 2005; Васфилов, 2003).

Имеются сведения о том, что содержание и состояние воды, в клетках и тканях растений влияют на их устойчивость к неблагоприятным условиям среды, следовательно, данные показатели могут являться критериями оценки устойчивости растений (Гриненко, 1971; Кулагин, 1974; Николаевский, 1979, 1998; Кавеленова, 2006; Половникова, 2007; Бухарина и др., 2007; Хмелевская, 2008; Старикова, Сарбаева, 2016).

В качестве одного из важных показателей водного режима растений, характеризующих их устойчивость к неблагоприятным условиям среды, является водоудерживающая способность (ВС), т.е. стойкость клеток к обезвоживанию. В основе ВС лежат определенные изменения физико-химических свойств биокolloидов. Увеличение ВС растений с одной стороны обусловлены увеличением вязкости и эластичности цитоплазмы клеток, а с другой возрастанием количества водорастворимых белков – гидрофильных высокомолекулярных соединений (Гриненко, 1971; Хмелевская, 2008).

Способность удерживать воду путем ее связывания является универсальной защитной реакцией растительного организма, а ВС надежным показателем их водообмена и устойчивости к неблагоприятным факторам внешней среды (Гриненко, 1971; Николаевский, 1979, 1998; Кавеленова, 2006; Бухарина и др., 2007, 2010). Независимо от того, повышается или понижается температура, снижается ли содержание воды в почвенном растворе или атмосфере, растение всегда снижает свои функции в результате обезвоживания. Таким образом, чем выше ВС растения, тем оно устойчивее к неблагоприятным факторам среды (Хмелевская, 2008). Отмечается, что устойчивые виды отличаются повышенным содержанием трудноизвлекаемой воды, водоудерживающая способность их листьев на 6-22 % выше, относительно контроля, а величина водного дефицита значительно ниже, чем у неустойчивых (Лихолат, Мыщик, 1996; Николаевский, 2002; Неверова, Колмогорова, 2002).

На динамику ВС древесных растений оказывает влияние период вегетации и онтогенетическое состояние растений (Грошева, 2006; Османова, Федорова, 2006). Е.В. Сарбаевой и О. Л. Воскресенской (2005, 2006) изучавших изменение ВС *Thuja occidentalis* в условиях техногенной среды, установлено, что данный вид обладает широким диапазоном экологической пластичности, и как следствие высокими адаптационными способностями, поскольку побеги растений из промышленных районов характеризуются

более резкими сезонными колебаниями ВС. Максимальные водопотери наблюдаются в период активных метаболических процессов (апрель-май), минимальные – при переходе к периоду глубокого покоя (октябрь-ноябрь).

По данным И. Л. Бухариной с соавторами (2007), ВС листьев древесных растений к концу вегетационного периода имеет тенденцию к снижению, что обусловлено нарушением защитных свойств мембран клеток листьев, связанное с более продолжительным воздействием загрязнителей на фотосинтетический аппарат растений и аккумуляцией поллютантов. Кроме того, установлены виды, имеющие высокую водоудерживающую способность на протяжении всего вегетационного периода (*Betula pendula*, *Acer negundo*, *Tilia cordata*), на основании чего делается вывод об достаточно высоких адаптационных способностях водообмена данных видов в условиях техногенной среды.

И. А. Хмелева (2008) изучала изменение показателей водного режима древесно-кустарниковых пород под воздействием техногенной среды г. Пскова. Установлено, что у растений, произрастающих в городской среде относительно данных контроля, снижается общая оводненность тканей (на 2-8 %), фракционный состав воды сдвигается в сторону увеличения связанной воды (на 13-31 %), что приводит к повышению ВС тканей растений. Под воздействием техногенной среды у опытных растений увеличивается интенсивность транспирации (30-88 %), и как следствие, наблюдается более высокий водный дефицит. Таким образом, изученные различия по ряду показателей водного питания между контрольными и опытными растениями отражают их приспособленность к условиям местопроизрастания, в ответ на более жесткие условия своего существования, растения формируют устойчивость к ним и слабее поражаются экстремальными факторами.

Н. С. Саидов (2010) отмечает снижение водоудерживающей способности листьев *Forsythia suspensa* и *Prunus laurocerasus* в условиях промышленного загрязнения, что подтверждает влияние условий среды на водообмен растений.

Исследования Р. Х. Гиниятуллина (2014) показали, что изменение ВС листьев древесных растений связано с метеорологическими условиями сезона исследования (температура и относительная влажность воздуха), уровнем атмосферного загрязнения места произрастания, видовыми особенностями древесных растений. Установлено, что в жаркий период (июль) потери воды у древесных растений увеличиваются, в сравнении с июнем и августом. Под воздействием промышленного загрязнения ВС листьев *Betula pendula* и *Populus balsamifera* увеличивалась на 3,6 % и 2,3 %, соответственно, относительно зоны условного контроля. Увеличение ВС древесных растений в условиях промышленного загрязнения автор связывает со способностью видов обеспечивать и сохранять свою жизнеспособность, в связи с чем более устойчивым к техногенному загрязнению видом называется *Betula pendula*.

Таким образом, ВС можно рассматривать в качестве информативного показателя водного режима растений, произрастающих в условиях урбанизированной среды, отражающего, с одной стороны, качество условий произрастания, с другой – адаптационные возможности растительного организма.

Настоящими исследованиями водоудерживающую способность листьев определяли весовым методом (Николаевский, 2002), который, для полевых исследований отличается удобством и простотой.

Водоудерживающая способность листьев исследуемых видов определялась дважды за период вегетации – в наиболее жаркие и засушливые месяцы летнего периода – июль и август.

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа установлено достоверное влияние ($p < \alpha = 0,05$) условий произрастания, периода вегетации и их взаимодействия на ВС листьев исследуемых видов (приложение Б).

Изучение ВС некоторых видов показало (рисунок 5.8), что в условиях контрольной площади в начале вегетации наибольшей ВС обладали листья

Betula pendula. Потеря воды ее листьями в сравнении с *Malus baccata*, *Padus maackii* и *Tilia cordata* была ниже на 14,2 %, 26,9 % и 46,0 %, соответственно.

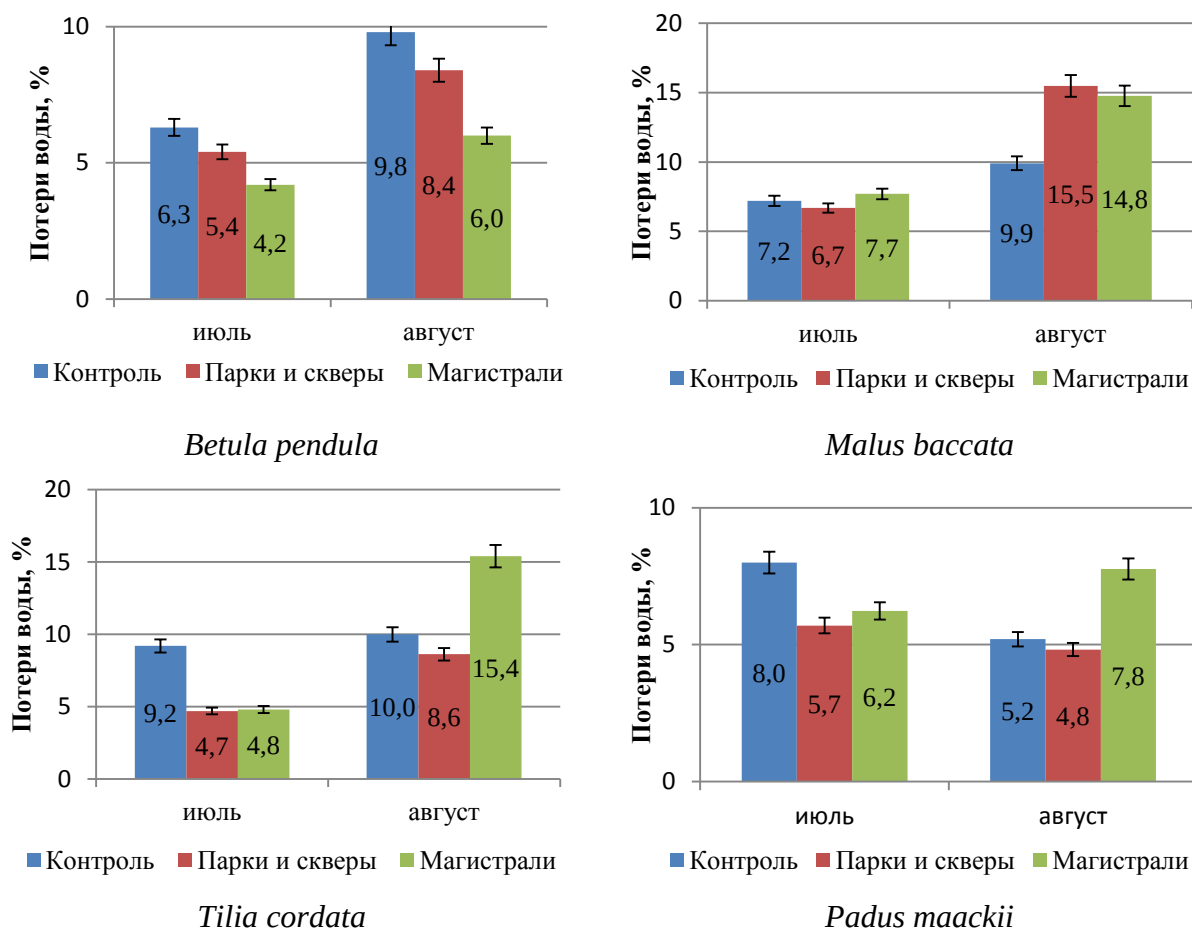


Рисунок 5.8 – Водоудерживающая способность листьев исследуемых видов, в условиях г. Красноярска

К концу вегетационного периода у растений отмечается общее снижение ВС листьев относительно данных июля. В условиях контроля у *Betula pendula* – на 55,6 %, у *Malus baccata* – на 37,5 % и у *Tilia cordata* – на 8,7 %. В августе у *Padus maackii*, напротив, отмечено увеличение ВС листьев, в условиях контроля на 35%, в парковых насаждениях – на 15,8 %, относительно данных июля. По мнению Кавеленовой Л. М. (2006), это может быть обусловлено тем, что вид-интродуцент в новых природных условиях, должен формировать цельный ответ на воздействие всего комплекса природных факторов, в том числе не связанных с техногенезом. *Padus maackii*, характеризуется как дерево пойменных лесов бассейна реки Амур и

Уссури (Булыгин, 1991; Абаимов, 2018), и в условиях дефицита влаги, присущей урбосреде, должна к ней адаптироваться. Кроме того, сказывается и особенность сезонного развития *Padus maackii* в условиях г. Красноярска. Ранее проведенными исследованиями показано, что период осеннего расцветивания листьев *Padus maackii* приходится на конец августа – начало сентября (Козик и др., 2009), в связи с чем можно предположить, что ко времени исследования данный вид уже активно готовился к зимнему периоду, а, как известно, это связано с выведением свободной воды из тканей и листьев, что отразилось на динамике ВС.

Изучая динамику ВС листьев у изученных видов по категориям площадей, установлено, что в июле достоверное увеличение ВС листьев в насаждениях парков и магистралей относительно зоны условного контроля наблюдается у особей *Padus maackii* (на 28,8 % и 22,5 %, соответственно), *Betula pendula* (на 14,2 % и 33,3 %, соответственно) и *Tilia cordata* (на 48,9 % и 47,8 %, соответственно). Для *Malus baccata* достоверных различий по данному признаку установлено не было.

К концу вегетационного периода, у *Betula pendula*, *Tilia cordata* и *Malus baccata* наблюдается общее снижение ВС относительно данных июля на всех изученных категориях площадей. Это связано, как с процессами естественного старения клеточных мембран, которые к концу вегетационного периода уже не способны эффективно контролировать процессы водоотдачи, так и нарушением их защитных свойств, обусловленных более продолжительным воздействием поллютантов на ассимиляционный аппарат растений и накопление в нем значительного количества токсичных веществ. Однако, у *Betula pendula*, тенденция увеличения ВС в условиях города относительно контрольной площади сохраняется. Так наибольшей ВС отличаются особи данного вида, произрастающие в насаждениях магистралей, относительно данных контроля потери воды в этих условиях были ниже на 38,8 %. У особей *Tilia cordata* способность эффективно контролировать процессы водоотдачи к концу вегетативного периода

сохраняется только в парковых насаждениях, в то время как в магистральных посадках потери воды относительно контрольной площади увеличились на 45%. У *Malus baccata* максимальные потери воды были зафиксированы в августе в условиях парков и магистральных посадок, превышающие данные контроля на 56,6 и на 49,5 %, соответственно. Снижение ВС на 50 % относительно зоны контроля в августе отмечается и у *Padus maackii*, произрастающей в магистральных посадках.

Таким образом, в результате исследований было установлено, что *Betula pendula*, *Tilia cordata* и *Padus maackii* способны эффективно контролировать процессы водоотдачи, увеличивая ВС листьев под воздействием техногенной среды. Однако к концу вегетации у *Tilia cordata* и *Padus maackii* эта способность в парковых насаждениях ослабевает, а в магистральных посадках и вовсе утрачивается. Это свидетельствует о том, что, несмотря на адаптационный потенциал, имеющийся у данных видов, высокий уровень техногенного загрязнения вызывает нарушения в процессах жизнедеятельности растений, и со временем их последствия становятся все более очевидными. Стабильность в динамике ВС листьев как по уровню загрязнения пробных площадей, так и по периоду вегетации отмечена у особей *Betula pendula*, что является признаком высокой пластичности данного вида к условиям урбосреды. У *Malus baccata* ВС листьев в июле практически не показала отличий по категориям площадей, однако к концу вегетации в условиях техногенной среды наблюдается резкое увеличение водоотдачи.

Таким образом, проведенными исследованиями, установлено, что содержание и состояние воды, в клетках и тканях растений влияют на их устойчивость к неблагоприятным условиям среды и данные показатели могут являться критериями оценки устойчивости растений. На основании показателя ВС листьев, исследованные виды можно распределить по степени устойчивости к условиям урбанизированной среды в следующем порядке: *Betula pendula* > *Padus maackii* > *Tilia cordata* > *Malus baccata*. Данный

показатель можно использовать в качестве индикаторного признака на степень загрязнения окружающей среды.

5.5 Сравнительный анализ состояния древесных растений в урбанизированной среде

При оценке состояния древесных растений в урбанизированной среде, важным моментом является определение чувствительных параметров, которые в полной степени позволят охарактеризовать состояние вида и судить о степени его устойчивости. Использование сразу нескольких методов для этой цели повышает надежность и достоверность выводов.

Визуальная оценка жизненного состояния древесных растений позволяет оценить текущее состояние особей. Нами на основании показателей состояния кроны древесных растений было установлено, что в городской среде, у *Padus maackii* и *Tilia cordata* снижается облиственность крон, увеличивается как количество поврежденных листьев, так и степень их повреждения. Это выражается в снижении жизненного состояния до «ослабленного», а у *Tilia cordata* в магистральных посадках до «сильно ослабленного». У *Malus baccata* была выявлена высокая повреждаемость энтомофитофагами, которые совместно с антропогенной средой снижают устойчивость вида во всех категориях городских посадок, в связи, с чем жизненное состояние вида характеризуется как «очень ослабленное», а в магистральных посадках – «критическое». Наиболее стабильным видом проявила себя *Betula pendula*. Достоинством визуального метода является то, что он позволяет в короткие сроки без значительных материальных затрат оценить текущее состояние древесных растений, выявить, какой из показателей ассимиляционного аппарата подвержен наибольшему изменению. При этом к недостаткам стоит отнести субъективность метода, поскольку достоверность полученных результатов во многом будет зависеть от квалификации исследователя. К тому же этот метод позволяет

констатировать факт нарушений, когда они уже становятся видны невооруженным взглядом, хотя скрытые от глаза негативные тенденции развиваются значительно раньше.

Инструментальным, а значит объективным методом является биометрический. Применение данного метода позволяет измерить каждый из показателей состояния ассимиляционного аппарата и установить причины нарушения его развития. Исследования, проведенные биометрическим методом, позволили установить, что снижение степени облиственности крон у изученных видов обусловлено снижением прироста годичных побегов, количества и площади листьев. У *Padus maackii*, *Tilia cordata* и *Malus baccata*, низкие показатели жизненности, по визуальной оценке, подтверждаются и уточняются результатами биометрических исследований. Так в условиях интенсивного загрязнения среды, визуальным методом установлено, что суммарная оценка состояния особей *Betula pendula*, *Padus maackii*, *Tilia cordata* и *Malus baccata* составила 34, 31, 27 и 24 балла, соответственно. Наиболее ослаблены насаждения *Malus baccata*. Изучение таких биометрических показателей как прирост годичных побегов, количество листьев на годичном побеге и площадь листьев, показало, что в этих же условиях сокращение ассимиляционной поверхности составило 33, 35 и 39 % соответственно. Сильнее всего утрата ассимиляционной поверхности проявилась у *Malus baccata* и *Tilia cordata*. Более устойчивым видом проявила себя *Betula pendula*, у которой снижение количества и площади листа составило 32 %. Следует особо отметить, что среди изученных биометрических показателей наиболее чувствительным и информативным параметром, позволяющим качественно оценить состояние вида, является сухая масса листа, которая является главным показателем фотосинтетической деятельности и продуктивности растений. Как показали проведенные исследования, именно сухая масса листа подвержена наибольшему изменению под воздействием урбосреды. Так, относительно контроля в насаждениях парков и скверов сухая масса листьев годичного

побега у *Malus baccata*, *Tilia cordata*, *Padus maackii* и *Betula pendula* снижалась на 42, 41, 35 и 34 %, соответственно. А в магистральных посадках – на 55, 55, 41 и 40 % соответственно.

Полученные данные убедительно свидетельствуют о том, что изменение биометрических показателей тесно связано с уровнем антропогенного воздействия. С повышением стрессирующего воздействия у исследованных видов происходит уменьшение ассимиляционной поверхности и массы фотосинтезирующей ткани, что неизбежно приводит к подавлению фотосинтетической активности листьев и снижению функциональной роли видов в составе насаждений.

Изучение водоудерживающей способности листьев позволяет выявить нарушения физиологических процессов вида на ранних этапах. Содержание воды в растительных тканях представляет собой динамическую величину, изменяющуюся под воздействием процессов, протекающих как в самом растении, так и под воздействием факторов внешней среды. В условиях урбанизированной среды, в середине вегетации у *Tilia cordata*, *Padus maackii* и *Betula pendula* происходит повышение водоудерживающей способности листьев, что демонстрирует работу адаптационных процессов. Однако характер их проявления имеет видовую специфику. У *Betula pendula* с увеличением антропогенного воздействия ВС повышается, у *Tilia cordata* не изменяется, а у *Padus maackii* – несколько снижается. При этом у *Malus baccata* ВС не изменяется относительно контроля. К концу вегетации, из-за накопления в листьях токсикантов, у *Tilia cordata*, *Padus maackii* и *Malus baccata* работа механизмов адаптации ухудшается в парках и особенно сильно – в магистральных посадках, где ВС листьев снижается в среднем на 50 % относительно контроля. И только у *Betula pendula*, тенденция увеличения ВС в условиях города относительно контрольной площади сохраняется, причем в наибольшей степени она выражена у особей, произрастающих в насаждениях магистралей, потери воды в этих условиях были ниже контрольных значений на 39 %. Таким образом, показатель

водоудерживающей способности листьев, особенно в конце вегетации, демонстрирует способность видов адаптироваться к условиям произрастания.

В результате проведенных визуальных, биометрических и физиологических исследований было выявлено, что *Betula pendula* успешно адаптируется к условиям урбанизированной среды и способна эффективно контролировать процессы водного обмена, роста и развития однолетних побегов. У *Padus maackii* и *Tilia cordata* способность к адаптации выражена в меньшей степени в условиях парков и еще больше снижается в магистральных посадках. А *Malus baccata* можно охарактеризовать как не устойчивый к условиям техногенной среды г. Красноярска вид.

Как показали настоящие исследования, комплексная оценка видов по показателям визуальной оценки жизненного состояния, биометрическим показателям морфоэлементов годичных побегов, водоудерживающей способности листьев позволяет достаточно надежно оценить состояние вида в условиях урбанизированной среды г. Красноярска.

Выводы по главе:

1. Показано, что у *Malus baccata*, *Tilia cordata*, *Padus maackii* и *Betula pendula* в условиях техногенной среды г. Красноярска наблюдается снижение жизненного состояния, ксерофитизация морфологических структур, повышение водного дефицита, снижение удельной массы листа, нарушение ассимиляционных процессов, увеличивающихся с возрастанием уровня техногенной нагрузки. Результаты оценки влияния условий произрастания на изученные эколого-физиологические показатели подтверждены данными дисперсионного анализа.

2. Визуальная оценка позволяет в короткие сроки и без значительных материальных затрат оценить текущее состояние древесных растений, выявить, какой из показателей ассимиляционного аппарата подвержен наибольшему изменению. Установлено, что снижение жизненного состояния

видов в техногенной среде обусловлено снижением облиственности крон, количества не поврежденных листьев и живой площади листа.

3. Биометрический метод позволяет объективно оценить каждый из показателей состояния ассимиляционного аппарата и установить причины нарушения его развития. Морфометрические показатели годичного побега, могут быть использованы в качестве чувствительного метода оценки состояния растительности на урбанизированных территориях.

4. Содержание и состояние воды, в клетках и тканях растений влияет на устойчивость древесных растений к неблагоприятным условиям среды. Данные показатели позволяют оценить устойчивость видов на ранних этапах формирования механизмов адаптации. По результатам двухфакторного дисперсионного анализа установлено достоверное влияние ($p < \alpha = 0,05$) условий произрастания, периода вегетации и их взаимодействия на ВС листьев исследуемых видов.

5. Для повышения надежности и достоверности оценки состояния древесных растений на урбанизированных территориях необходим комплексный подход с использованием различных методов и параметров исследования.

6. На основании проведенных исследований, изученные виды по степени устойчивости к условиям урбанизированной среды можно распределить в следующем порядке: *Betula pendula* > *Padus maackii* > *Tilia cordata* > *Malus baccata*.

6 РЕКОМЕНДАЦИИ ПО СОЗДАНИЮ ИСКУССТВЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ В Г. КРАСНОЯРСКЕ

Создание искусственных насаждений на урбанизированных территориях, должно осуществляться на основе научного подхода к выбору видового состава, основанного на комплексной оценке состояния существующей древесной растительности, с учетом уровня техногенной нагрузки на них.

На основании проведенных исследований в насаждениях г. Красноярска к использованию в озеленительных посадках могут быть рекомендованы: *Betula pendula*, *Betula pubescens*, *Populus balsamifera*, *Populus alba*, *Populus nigra*, *Ulmus pumila*, *Salix* (виды), *Ulmus laevis*, *Tilia cordata*, *Malus baccata*, *Padus avium*, *Padus maackii*, *Syringa vulgaris*, *Syringa josikaea*, *Grataegus sanquinea*, *Sorbus sibirica*, *Pyrus ussuriensis*, *Amelanchier ovalis*, *Cerasus tomentosa*, *Rosa glauca*, *Rosa majalis*, *Rosa rugosa*, *Sorbaria sorbifolia*, *Spiraea* (виды), *Physocarpus opulifolius*, *Acer ginnala*, *Caragana arborescens*, *Fraxinus excelsior*, *Cotoneaster melanocarpus*, *Cotoneaster lucida*, *Acer ginnala*, *Elaeagnus argentea*, *Viburnum opulus*, *Sambucus racemosa*, *Berberis vulgaris*, *Berberis amurensis*, *Juglans mandshurica*, *Ribes aureum*, *Elaeagnus argentea*, *Swida alba*..

Хвойные породы *Larix sibirica*, *Picea obovata*, *Picea pungens*, *Pinus sylvestris*, учитывая их низкие показатели жизненности в составе городских насаждений г. Красноярска, следует вводить очень ограниченно, тщательно подбирая места произрастания, учитывая уровень техногенной нагрузки. Категорически не рекомендуется использование данных видов в магистральных посадках.

Отдельно необходимо отметить использование *Acer negundo* в городских посадках. Поскольку данный вид создает реальную угрозу биологическому разнообразию зеленых насаждений г. Красноярска,

рекомендуем присвоить *Acer negundo* статус «инвазивного вида» и использование его в городских посадках строго ограничить. За существующими насаждениями данного вида необходимо осуществлять строгий контроль, недопускающий его самостоятельное размножение и расселение.

В целом, при установлении перечня растений для конкретного объекта необходимо, чтобы он отвечал целевому назначению и архитектурному решению объекта, учитывал его специфику, экологические факторы и функции насаждений, которые на них возлагаются, а также соответствие условий произрастания биолого-экологическим требованиям растений. Для этого рекомендуется проведение комплексной оценки состояния видов, критериями для которой, как показали настоящие исследования, могут быть рекомендованы визуальная оценка состояния ассимиляционного аппарата, показатели роста и развития годичных побегов и водного режима древесных растений.

Более детальная оценка эколого-физиологических особенностей *Betula pendula*, *Padus maackii*, *Tilia cordata*, *Malus baccata* в составе искусственных насаждений г. Красноярска, позволила дать рекомендации по использованию данных видов в насаждениях различных категорий функционального назначения.

У *Betula pendula* во всех категориях насаждений отмечаются более высокие показатели жизненности, обусловленные, как показали исследования, стабильностью морфометрических параметров побегов и ВС листьев. Это, по-видимому, свидетельствует о высоком адаптационном потенциале вида и позволяет рекомендовать его для широкого использования во всех типах озеленительных посадок г. Красноярска: общего, специального и ограниченного пользования.

Для *Padus maackii* наиболее благоприятными условиями произрастания являются насаждения общего пользования - парки и скверы. В данной категории насаждений адаптивные реакции, реализуемые видом,

способствуют сохранению нормальной жизнедеятельности вида, и, следовательно, позволяют в полной мере выполнять свои средообразующие функции. В уличных посадках жизненное состояние насаждений *Padus taaskii* снижается, поэтому широкое использование вида в данной категории насаждений не рекомендуется.

Насаждения *Tilia cordata* менее устойчивы в городской среде г. Красноярска, чем выше рассмотренные виды, особенно это касается посадок вдоль магистралей, где использование данного вида стоит ограничивать. В насаждениях общего пользования данный вид характеризуется большей устойчивостью и стабильностью развития, поэтому рекомендуется для введения в озеленительные посадки.

Malus baccata во всех категориях городских насаждений г. Красноярска характеризуется низкими показателями жизненности. Под воздействием техногенной среды у данного вида нарушаются показатели водного режима, процессы роста и развития, что находит отражение в ухудшении его жизненного состояния. Учитывая высокую декоративность данного вида, для разнообразия видового ассортимента городских посадок допускается его использование в парковых насаждениях, однако, на долговечность таких насаждений рассчитывать не стоит.

Для успешного роста древесной растительности, повышения их устойчивости к неблагоприятным факторам среды, усиления экологического потенциала насаждений, необходимо организовать систему ухода за городскими посадками, включающего:

- полив растений и дождевание крон;
- рыхление почвы на приствольных площадках;
- внесение удобрений;
- защиту от вредителей и болезней;
- обрезку растений: санитарную, омолаживающую, формовочную – с учетом биологических особенностей роста и развития древесных растений.

Первоочередной задачей города является инвентаризация и оценка жизненного состояния имеющегося зеленого фонда. Для характеристики состояния насаждений и отдельных видов древесных растений и их экологического потенциала необходимо наряду с методами таксации и инвентаризации использовать комплекс физиолого-биохимических характеристик, объективно отражающих функциональное состояние растений. Проведенные исследования позволяют сделать ряд рекомендаций по оценке состояния древесных растений и формированию искусственных насаждений в урбанизированной среде.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате проведенных исследований установлено, что в обследованных насаждениях г. Красноярска произрастает 54 вида древесной растительности, которые относятся к 39 родам и 18 семействам. Доминантами насаждений являются пять видов – *Acer negundo*, *Populus balsamifera*, *Ulmus pumila*, *Malus domestica* и *M. baccata*. Анализ возрастной структуры зеленых насаждений г. Красноярска свидетельствует о старении зеленого фонда города. Жизненное состояние урбопопуляций широко распространенных во всех типах городских насаждений видов соответствует двум категориям – «сильно поврежденные» и «слабо поврежденные», при этом степень выраженности и причины их проявления у разных видов различны.

Проведена оценка целесообразности и эффективности использования в озеленении г. Красноярска *Betula pendula*, *Padus maackii*, *Tilia cordata* и *Malus baccata*, на основании комплексного анализа их состояния. Визуальная оценка показала, что техногенная среда города приводит к ухудшению общего состояния изученных видов. Самая низкая суммарная оценка состояния отмечается в насаждениях магистралей.

Установлено, что у исследуемых видов древесных растений в условиях урбосреды происходит сокращение прироста годичных побегов, количества и размеров листьев, площади ассимиляционной поверхности, массы фотосинтезирующей ткани, нарушается водный режим, что приводит к снижению их устойчивости.

На основании комплексной эколого-биологической оценки состояния *Betula pendula*, *Padus maackii*, *Tilia cordata* и *Malus baccata*, даны рекомендации по их использованию в составе искусственных насаждений г. Красноярска. Относительно высоким адаптационным потенциалом обладает *Betula pendula* и ее рекомендуется использовать во всех категориях насаждений. *Padus maackii* и *Tilia cordata* характеризуются высокой

степенью адаптации в парковых посадках, но менее устойчивы в магистральных, поэтому не рекомендуются для широкого использования в этом типе насаждений. Низкими показателями жизнестойкости отличается *Malus baccata* во всех категориях изученных насаждений, поэтому ее следует использовать в условиях удаленных от источников загрязнения.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать предложенную нами комплексную оценку состояния насаждений для широкого внедрения в исследования адаптационного потенциала других видов растений в условиях промышленных центров Сибири. Результаты исследований могут быть использованы при реконструкции и строительстве зеленых зон г. Красноярска.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Абаимов, В. Ф. Дендрология / В. Ф. Абаимов. — Москва : Издательство Юрайт, 2018. — 474 с.
2. Авдеева, Е. В. Зеленые насаждения городов Сибири / Е. В. Авдеева. — Красноярск: СибГТУ, 2000. — 148 с.
3. Авдеева, Е. В. Ландшафтно-экологическая среда Сибирских городов / Е. В. Авдеева. — Красноярск : СибГТУ, 2006. — 132 с.
4. Авдеева, Е. В. Рост и индикаторная роль древесных растений в урбанизированной среде / Е. В. Авдеева. — Красноярск: СибГТУ, 2007. — 382 с.
5. Авдеева, Е. В. Урбодендрология. Ель сибирская (*Picea obovata* Ledeb.) и ель колючая (*Picea pungens* Engelm.) в насаждениях города Красноярска / Е. В. Авдеева, А. А. Извеков ; СибГУим. М. Ф. Решетнева. — Красноярск, 2021а. — 180 с.
6. Авдеева, Е. В. Урбодендрология. Сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.) в посадках города Красноярска/ Е. В. Авдеева, А. И. Панов; СибГУим. М. Ф. Решетнева. — Красноярск, 2021б. — 192 с.
7. Агапова, А. М. Ассортимент растений природной флоры для обогащения объектов рекреации / А. М. Агапова, Т. А. Павлова // Декоративные растения и их интродукция в Западную Сибирь : сб. науч. тр. — Новосибирск : Наука, 1977. — С. 131-137.
8. Агаркова, М. Г. Морфологогенетические особенности городских почв и их систематика / М. Г. Агаркова, Л. К. Целищева, М. Н. Строганова // Вестник МГУ. Сер. 17. Почвоведение. - № 2. - 1991. - С. 11-16.
9. Александрова, А. Б. Состояние почв г. Казани / А.Б. Александрова // Деградация почвенного покрова и проблемы агроландшафтного земледелия. — Ставрополь. - 2001. - С. 8-9.

10. Алексеев, В. А. Диагностика жизненного состояния деревьев и древостоев / В. А. Алексеев // Лесоведение. - 1989. - №4. – С. 51-54.
11. Аналитический обзор : Качество воздуха в крупнейших городах России за десять лет 1998-2007. – Санкт-Петербург : ГУ «ГГО», Росгидромет, 2009. – 133 с.
12. Андреева, В. А. Фермент пероксидаза: участие в защитном механизме растений / В. А. Андреева. – М.: Наука, 1988. – 127 с.
13. Антипов, В. Г. Влияние дыма и газа, выбрасываемых промышленными предприятиями, на сезонное развитие деревьев и кустарников / В. Г. Антипов // Ботанический журнал. – 1957. – Т. 42.– № 1.– С. 92-95.
14. Артамонов, В. И. Растения и чистота природной среды / В. И. Артамонов. – М. : Наука, 1986. – 156 с.
15. Артемьев, О.С. Методика инвентаризации городских зеленых насаждений по материалам видеосъемки, обработанным на ЭВМ / О. С. Артемьев // Здоровье общества и безопасность жизнедеятельности. – 1998. – С.231-232.
16. Артемьев, О.С. Методика инвентаризации городских насаждений с применением материалов видеосъемки / О.С. Артемьев // Лесная таксация и лесоустройство. – 1999. – С.107-111.
17. Артемьев, О.С. Структура насаждений центральной части Красноярска / О.С. Артемьев // Лесная таксация и лесоустройство. – 1995 . – С.123-125.
18. Арустамов, Э.А. Экологические основы природопользования / Э.А. Арустамов, И.В. Левакова, Н.В. Баркалова. – М. : Дашков и К, 2001. – 236 с.
19. Атмосферная турбулентность и моделирование распространения примесей / Под ред. Ф.Т.М. Ньистадта. – Л. : Гидрометеиздат, 1985. – 350 с.
20. Афанасьева, Н. Б. Введение в экологию растений / Н. Б. Афанасьева, Н. А. Березина. – Москва : Изд-во Моск. ун-та, 2011. - 800 с.

21. Бабич, Н. А. Интродуценты в зеленом строительстве северных городов: монография / Н. А. Бабич, О. С. Залывская, Г. И. Травникова. – Архангельск: Арханг. гос. тех. ун-т, 2008. – 144 с.
22. Баканина, Ф. М. Техногенные изменения почвенного покрова городских территорий / Ф. М. Баканина // Антропогенные изменения и охрана природной среды. – Новгород. - 1990. – С.61-65.
23. Барабой, В.А. Перекисное окисление и стресс / В.А. Барабой, И.И. Брехман, В.Г. Голотин, Ю.Б. Кудряшов. – СПб.: Наука, 1992. – 148 с.
24. Барахтенова, Л.А. Влияние сернистого газа на фотосинтез растений / Л.А. Барахтенова, В.С. Николаевский. - Новосибирск, 1988. - 85 с.
25. Башаревич, И. Л. Влияние химического состава городских почв на состояние древесных растений / И. Л. Башаревич, И. А. Морозова, С. В. Сомаев // Экология большого города. Альманах. - Вып. 3. –1998. – С. 62-73.
26. Безуглая, Э. Ю. Чем дышит промышленный город / Э. Ю. Безуглая, Г.П. Расторгуева, И.В. Смирнова. – Л. : Гидрометеиздат, 1991. – 251 с.
27. Берлянд, М.Е. Города и климат планеты / М.Е. Берлянд, К.Я. Кондратьев. – Л. : Гидрометеиздат, 1972. – 40 с.
28. Бессонова, В. П. Состояние пылицы как показатель загрязнения среды тяжелыми металлами / В. П. Бессонова // Экология. – 1992. – №4. – С. 45-50.
29. Биохимические индикаторы стрессового состояния древесных растений / Н.Е. Судачкова, И.В. Шеин, Л.И. Романова и др. – Новосибирск: Наука. Сиб. Предприятие РАН, 1997. – 176 с.
30. Булыгин, Н. Е. Дендрология / Н. Е. Булыгин. – Л.: Агропромиздат. Ленинград. отд-ние, 1991. – 352 с.
31. Бухарина, И. Л. Городские насаждения: экологический аспект / И.Л. Бухарина, А.Н. Журавлева, О. Г. Большова – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2012. – 206 с.

32. Бухарина, И. Л. Характеристика элементов антиоксидантной системы адаптации древесных растений в условиях городской среды / И. Л. Бухарина // Вестник РУДН. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. - 2008. - №2. – С. 5-13.
33. Бухарина, И.Л. Биоэкологические особенности травянистых и древесных растений в городских насаждениях / И.Л. Бухарина, А. А. Двоеглазова. – Ижевск: Изд-во «Удмуртский университет», 2010. – 184 с.
34. Бухарина, И.Л. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде / И. Л. Бухарина, Т. М. Поварничина, К. Е. Ведерников. – Ижевск : ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. – 216 с.
35. Василевская, В. К. Структурные приспособления растений жарких и холодных пустынь Средней Азии и Казахстана / В. К. Василевская. – М. ; Л., 1965. – 517 с.
36. Вараксин, Г. С. Особенности фенологического развития липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) в различных экологических условиях города Красноярска / Г. С. Вараксин, Ю. В. Кладько // Вестник КрасГАУ. – 2010. – № 8(47). – С. 73-77.
37. Васфилов, С. П. Возможные пути негативного влияния кислых газов на растения / С. П. Васфилов // Журнал общей биологии. - 2003. – Т.64. №2. – С. 146-159.
38. 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.
39. 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.
40. Виноградова, Е. Н. Морфометрический анализ годичного побега растений *Asar negundo* L., произрастающих в условиях техногенного

загрязнения среды в Донбассе / Е. Н. Виноградова // Самарский научный вестник. – 2016. – № 3(16). – С. 13-17.

41. 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.

42. Водяницкий, Ю.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами / Ю.Н. Водяницкий, Д.В. Ладонин, А.Т. Савичев. – М., 2012. – 305 с.

43. Вострикова, Т. В. Влияние почвенно-климатических факторов и антропогенного загрязнения на цитогенетические показатели деревьев-интродуцентов / Т. В. Вострикова // Современные проблемы аграрной науки и пути их решения. – 2005. –Т.II. – С. 326-331.

44. Встовская, Т. Н. Древесные растения - интродуценты Сибири / Т.Н. Встовская; ред. И.Ю. Коропачинский. - Новосибирск : Наука, Сиб. отделение, 1987. - 272 с.

45. Гетко, Н. В. Растения в техногенной среде : структура и функция ассимиляционного аппарата / Н. В. Гетко; Акад. наук БССР, Центр. ботан. сад. - Минск : Наука и техника, 1989. – 205 с.

46. Гиниятуллин, Р. Х. Водоудерживающая способность листьев древесных растений в различных экологических условиях / Р. Х. Гиниятуллин // Известия Уфимского научного центра РАН. – 2014. – № 3. – С. 113-118.

47. Глазунов, В. Г. Ветровал и ветролом деревьев в городе / В.Г. Глазунов // Экология, мониторинг и рациональное природопользование. - 2001. - № 307. — С. 112-124.

48. Голицын, А. Н. Инженерная геоэкология / А. Н. Голицын. - Москва : Оникс, 2007. – 363 с.

49. Горохов, В. А. Зеленая природа города / В. А. Горохов. – М.: Архитектура-С, 2005. – 592 с.

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

51. Госавтоинспекция // Официальный сайт Министерства внутренних дел Российской Федерации : сайт. – URL : <https://xn--90adear.xn--p1ai/> (дата обращения: 08.04.2022).

52. ГОСТ 17.2.3.01-86 Охрана природы. Атмосфера. Правила контроля качества воздуха населенных пунктов. Издание официальное. – М. : Стандартинформ, 2005. – 3 с.

53. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2008 год». - Красноярск: Министерство природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края, Красноярский филиал ФГУП «Госцентр «Природа», 2009. – 226 с.

54. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2009 год». - Красноярск: Министерство природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края, Красноярский филиал ФГУП «Госцентр «Природа», 2010. – 237 с.

55. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2010 год». - Красноярск: Министерство природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края, Красноярский филиал ФГУП «Госцентр «Природа», 2011. – 280 с.

56. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2011 год». - Красноярск: Министерство природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края, Красноярский филиал ФГУП «Госцентр «Природа», 2012. – 320 с.

57. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае за 2012 год». - Красноярск: Министерство природных ресурсов и лесного комплекса Красноярского края, Красноярский филиал ОАО «НИиП центр «Природа», 2013. – 314 с.

58. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2013 году». - Красноярск: Министерство природных ресурсов и экологии Красноярского края, КГБУ «ЦРМПиООС» 2014. – 282 с.

59. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2014 году». - Красноярск: Министерство природных ресурсов и экологии Красноярского края, КГБУ «ЦРМПиООС» 2015. – 294 с.

60. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2015 году». - Красноярск: Министерство природных ресурсов и экологии Красноярского края, КГБУ «ЦРМПиООС» 2016. – 314 с.

61. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2016 году». - Красноярск: Министерство природных ресурсов и экологии Красноярского края, КГБУ «ЦРМПиООС» 2017. – 302 с.

62. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2017 году». - Красноярск: Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края, КГБУ «ЦРМПиООС» 2018. – 302 с.

63. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2018 году». - Красноярск: Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края, КГБУ «ЦРМПиООС» 2019. – 302 с.

64. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2019 году». - Красноярск: Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края, КГБУ «ЦРМПиООС» 2020. – 314 с.

65. Государственный доклад «О состоянии и охране окружающей среды в Красноярском крае в 2020 году». - Красноярск: Министерство экологии и рационального природопользования Красноярского края, КГБУ «ЦРМПиООС» 2021. – 337 с.

66. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». - М.: Минприроды России; НПП Кадастр, 2018. - 888 с.
67. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2019 году». - М.: Минприроды России; МГУ имени М. В. Ломоносова, 2020. - 1000 с.
68. Григорьев, Ю. С. Биоиндикация загрязнений воздушной среды на основе замедленной флуоресценции хлорофилла листьев и феллодермы деревьев / Ю. С. Григорьев, М. А. Бучельников // Экология. – 1999. – № 4. – С. 273-275.
69. Гриненко, В. В. Значение авторегуляции водного режима в адаптации к природным факторам / В. В. Гриненко // Физиология засухоустойчивости, 1971. – С. 115-123.
70. Гришко, В. Н. К методике оценки состояния древесных растений в условиях городской среды / В. Н. Гришко, К. Б. Плюто, З. Н. Столяренкова // Роль ботанічних садів в зеленому будівництві міст, курортних та рекреаційних. Частина 1. - 2002. – С.126-131.
71. Громадин, А. В. Дендрология / А. В. Громадин, Д. Л. Матюхин. - М. : Академия, 2013. - 368 с.
72. Грошева, Н.П. Эколого-физиологические особенности водного режима желтушника левкойного в онтогенезе / Н.П. Грошева // Принципы и способы сохранения биоразнообразия. –2006. – С. 311-312.
73. Гудериан, Р. Загрязнение воздушной среды / Р. Гудериан. – М.: Мир, 1979. – 200 с.
74. Гуняженко, И. В. Физиология растений с основами биохимии / И. В. Гуняженко. - Минск : Вышэйш. шк., 1985. - 207 с.
75. Демиденко, Г. А. Интенсивность загрязнения листьев древесных растений города Красноярска / Г. А. Демиденко // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Р. Филиппова. – 2021. – № 4(65). – С. 123-130.

76. Добровольский, И. А. Ассортименты древесных растений для озеленения техногенных ландшафтов / И. А. Добровольский // Газоустойчивость растений. - Новосибирск: Наука, 1980. – С. 182.

77. Дончева-Бонева, М. Воздействие токсических газов на содержание пигментов в хвое сосны обыкновенной / М. Дончева-Бонева // Влияние атмосф. загрязнения и др. антропог. и природ. факторов на дестабилиз. состояния лесов Центр. и Вост. Европы. –1996. – Т.1. – С. 56-57.

78. Донцов, А. С. Оценка состояния окружающей среды г. Красноярск по состоянию фотосинтетического аппарата ели сибирской / А. С. Донцов, Л. Н. Сунцова, Е. М. Иншаков // Хвойные бореальной зоны. – 2016. – Т. XXXIV. – № 5–6. – С. 246–250.

79. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов ; Б. А. Доспехов. – Изд. 6-е, стер., перепеч. с 5-го изд. 1985. – 350 с.

80. Дубенок, Н. Н. Рост и продуктивность древостоев сосны и лиственницы в условиях городской среды / Н. Н. Дубенок, В. В. Кузьмичев, А. В. Лебедев // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. – 2018. – № 1(37). – С. 54-71.

81. Дьяков, А.Б. Экологическая безопасность транспортных потоков / А.Б. Дьяков, Ю.В. Игнатьев, Е.П. Копшин. - М.: Транспорт, 1989. – 128 с.

82. Ежегодник «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2018 г». – Санкт-Петербург : ФГБУ «ГГО» Росгидромета, 2019. – 251 с.

83. Ежегодник «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2019 г». – Санкт-Петербург : ФГБУ «ГГО» Росгидромета, 2020. – 250 с.

84. Ежегодник «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2020 г». – Санкт-Петербург : ФГБУ «ГГО» Росгидромета, 2021. – 257 с.

85. Еремченко, О.З. Эколого-биологические свойства урбаноземов г. Перми / О.З. Еремченко, И.Е. Шестаков, В.И. Каменщикова // Вестник удмуртского университета. Биология. Науки о Земле. – 2010. – Вып.4. – С. 56 – 63.
86. Ерохина, А. А. Почвы и площади пахотных земель Красноярского края / А. А. Ерохина // Природные условия Красноярского края. –1961. – С. 143-159.
87. Ерохина, В. И. Озеленение населенных мест / В. И. Ерохина, Г. П. Жеребцова, Т. И. Вольфтруб. –М.: Стройиздат, 1987. – 480 с.
88. Есякова, О. А. Биоиндикация загрязнения атмосферного воздуха крупных промышленных городов / О. А. Есякова, Л. В. Ставникова // Здоровье - основа человеческого потенциала: проблемы и пути их решения. – 2008. – Т. 3. – № 1. – С. 133-134.
89. Есякова, О. А. Зонирование загрязнения атмосферы г. Красноярска биоиндикационными методами : / О. А. Есякова, Р. А. Степень ; отв. ред. П. В. Миронов. - Красноярск : СибГТУ, 2011. - 122 с.
90. Есякова, О. А. Индикация загрязнения атмосферы Красноярска по морфометрическим и химическим показателям хвои ели сибирской / О. А. Есякова, Р. А. Степень // Химия растительного сырья. – 2008. – № 1. – С. 142-148.
91. Заварина, М. В. О влиянии города на ветровой режим нижних слоев атмосферы / М.В. Заварина, М.М. Борисенко // Климат и город : мат. конф. «Климат – город – человек». – 1974. – С. 149-150.
92. Зеленые насаждения Казани // Экология урбанизированных территорий. - Казань: Пзд-во Казанского университета, 1987. - 103 с.
93. Зеликов, В. Д. Антропогенез лесных почв / В. Д. Зеликов // Городское хозяйство и экология. – 1996. - №1.Ч.1.– С. 32-33.
94. Зенкова, Е.Л. Влияние техногенного загрязнения города Тюмени на репродуктивную способность сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) / Е.

Л. Зенкова, М. Н. Казанцева // Урбоэкосистемы и перспективы развития. – 2008. – С. 59-62.

95. Зубарева, О. Н. Влияние выбросов промышленных предприятия в Средней Сибири на сосну обыкновенную (*Pinus sylvestris* L.) : автореф. дис. на соискание ученой степени канд. биол. наук : 03.00.16 / Зубарева Ольга Николаевна. –Красноярск, 1993. – 21 с.

96. Извеков, А. А. Динамика таксационных показателей ели сибирской (*Picea obovata* Ledeb.) и ели колючей (*Picea pungens* Engelm.) в условиях урбанизированной среды г. Красноярска : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.03.02 / Извеков Александр Александрович. - Красноярск, 2021. - 20 с.

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

98. Илькун, Г.М. Загрязнители атмосферы и растения / Г. М. Илькун. – Киев, 1978. – 246 с.

99. Интродукция древесных растений в Сибири / Т. Н. Встовская, И. Ю. Коропачинский, Т. И. Киселева, А. Б. Горбунова, А. В. Каракулов, Н. П. Лаптева; науч. ред. И. Ю. Коропачинский. - 2-е изд., перераб. и доп. - Новосибирск : Гео, 2017. – 716 с.

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

101. Кавеленова, Л. М. Проблемы организации системы фитомониторинга городской среды в условиях лесостепи / Л. М. Кавеленова. – Самара : Изд-во «Универс групп», 2006. – 223 с.

102. Калманова, В. Б. Антропогенная трансформация древесной растительности в урбанизированной среде (на примере г. Биробиджан) / В. Б. Калманова // Урбоэкосистемы проблемы и перспективы развития – 2008. – С. 62-66.

103. Карасев, В.Н. Физиология растений / В. Н. Карасев. — Йошкар-Ола: МарГТУ, 2001. — 263 с.
104. Ким, Е. Э. Береза даурская в озеленении улиц Северной части г. Хабаровска (распространение, состояние, структура насаждений) / Е. Э. Ким, Е. В. Сомов // Ученые заметки ТОГУ. — 2017. — Т. 8. — № 3. — С. 213-216.
105. Кирилов, М. В. Природа Красноярск и его окрестностей / М. В. Кириллов. — Красноярск: Кн. изд-во, 1988. — 149 с.
106. Кислотные дожди / Ю. А. Израэль, И. М. Назаров, А. Я. Пресман и др. — Л. : Гидрометеиздат, 1989. — 269 с.
107. Кладько, Ю. В. Радиальный рост древесных видов в условиях высокой антропогенной нагрузки г. Красноярск / Ю. В. Кладько, В. Е. Бенькова // Сибирский лесной журнал. — 2018. — № 4. — С. 49-57.
108. Климат Красноярск / под ред. Швер Ц. А., Герасимовской А. С. — Л.: Гидрометеиздат, 1982. — 232 с.
109. Козик, Е. В. Сезонное развитие древесных интродуцентов в урбоэкосистемах / Е. В. Козик, Л. Н. Сунцова, Е. М. Иншаков // Хвойные бореальной зоны. — 2009. - Т. 26. — № 2. — С. 217-220.
110. Колмогорова, Е. Ю. Морфометрическая характеристика древесных растений, произрастающих в условиях воздействия выбросов автотранспорта / Е. Ю. Колмогорова // Живые и биокосные системы. — 2013. — № 4. — С. 6-10.
111. Колмогорова, Е. Ю. Морфометрическая характеристика древесных растений, произрастающих в условиях угольного отвала разреза "Кедровский" / Е. Ю. Колмогорова // Бюллетень науки и практики. — 2016. — № 6(7). — С. 25-30.
112. Колмогорова, Е. Ю. Морфофизиологическая оценка состояния березы повислой в условиях действия выбросов автотранспорта / Е. Ю. Колмогорова, В. А. Кайдорина, О. А. Неверова // Известия высших учебных заведений. Лесной журнал. — 2012. — № 2(326). — С. 20-27.

113. Корельская, Т. А. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове селитебного ландшафта города Архангельска / Т. А. Корельская, Л. Ф. Попова // Арктика и Север. - 2012. - №7. – С. 136-152.
114. Корнеева, Н. Ю. Лиственница даурская в озеленении дворов Г. Хабаровска (состояние, структура и состав насаждений) / Н. Ю. Корнеева, Е. В. Сомов // Молодежь и наука. – 2020. – № 4. – С. 13.
115. Коропачинский, И. Ю. Древесные растения для озеленения Красноярска / И. Ю. Коропачинский, Р. И. Лоскутов ; под ред. И. Ю. Коропачинского. - Новосибирск : Гео, 2014. - 320 с.
116. Коропачинский, И. Ю. Современные проблемы интродукции древесных растений в Сибири / И. Ю. Коропачинский, Т. Н. Встовская, М. А. Томошевич ; Сиб. отд-ние Рос. акад. наук, Центр. сиб. ботан. сад. - Новосибирск : Гео, 2013. - 90 с.
117. Коропачинский, И.Ю. Древесные растения Азиатской России / И. Ю. Коропачинский, Т. Н. Встовская. - Новосибирск.: Изд-во СО РАН «Гео», 2012. - 707 с.
118. Корчагин, В. А. Экологическая безопасность автомобильного транспорта / В. А. Корчагин, Д. И. Ушаков. - Липецк : ЛГТУ, 2008. - 61 с.
119. Космаков, И. В. Термический и ледовый режим в верхнем и нижнем бьефах высоконапорных гидроэлектростанций на примере Красноярской и Саяно-Шушенской ГЭС : автореф. дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.27 / Космаков Игорь Васильевич. - Иркутск, 2002. - 22 с.
120. Крамер, П.Д. Физиология древесных растений / П.Д. Крамер, Т.Т. Козловский. – М. : Лесная промышленность, 1983. – 464 с.
121. Красинский, Н.П. Теоретические основы построения ассортиментов газоустойчивых растений / Н. П. Красинский // Дымоустойчивость растений и дымоустойчивые ассортименты. - 1950. - С.297-303.

122. Краснощекова, Н. С. Эколого-экономическая эффективность зеленых насаждений: Обзорная информация / Н. С. Краснощекова. - М.:ЦЕНТИ Минжилкомхоза РСФСР, 1987.- 44 с.
123. Красноярск. Экологические очерки / Р. Г. Хлебопрос, О. В. Тайсенко, Ю. Д. Иванова, С. В. Михайлюта. – Красноярск : Сибирский федеральный университет, 2012. – 130 с.
124. Красноярский край // Федеральная служба государственной статистики. База данных показателей муниципальных образований : сайт.- URL:<https://www.gks.ru/dbscripts/munst/munst04/DBInet.cgi> (дата обращения: 08.04.2022).
125. Кузнецов, В. В. Общие системы устойчивости и трансдукция стрессорного сигнала при адаптации растений к абиотическим факторам / В. В. Кузнецов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. Серия: Биология. – 2001. – С. 64-68.
126. Кулагин, А. А. Реализация адаптивного потенциала древесных растений в экстремальных лесорастительных условиях: автореф. дис. ... д-ра биол. наук : 03.00.16 / Кулагин Андрей Алексеевич. – Тольятти, 2006. – 36 с.
127. Кулагин, А. А. Лиственница Сукачева в экстремальных лесорастительных условиях Южного Урала / А. А. Кулагин, Г. А. Зайцев. - М.: Наука, 2008. - 171 с.
128. Кулагин, Ю. З. Древесные растения и промышленная среда / Ю. З. Кулагин. – М.: Наука, 1974. – 125 с.
129. Кулагин, Ю. З. Индустриальная дендрэкология и прогнозирование / Ю. З. Кулагин. – М. : Наука, 1985. – 117 с.
130. Курбатова, А.С. Экология города / А.С. Курбатова, В.Н. Башкин, Н.С. Касимов. – М. : Научный мир, 2004. – 624 с.
131. Кучерявый, В.А. Зеленая зона города / В. А. Кучерявый. - Киев: Наук, думка, 1981. - 247 с.
132. Лайранд, Н.И. Некоторые физиолого-анатомические показатели состояния сосны обыкновенной в условиях загрязненного воздуха города

Ленинграда / Н. И. Лайранд, В. И. Савенкова // Проблемы физиологии и биохимии древесных растений. – Красноярск. - 1974. - Вып. 4. - С. 23-25.

133. Ландсберг, Г.Е. Климат города / Г. Е. Ландсберг; Перевод с англ. под ред. А. С. Дубова. - Л. : Гидрометеиздат, 1983. – 248 с.

134. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / под ред. В. А. Алексеева. – Л.: Наука, 1990. – 198 с.

135. Лихолат, Ю.В. Оценка жизнедеятельности растений древесных группировок в условиях Индустриального Приднепровья с помощью показателей водного режима / Ю.В. Лихолат, Л.П. Мыщик // Влияние атмосферного загрязнения и других антропогенных факторов на дестабилизацию состояния лесов Центральной и Восточной Европы. – 1996. – Т.1. – С. 70-71.

136. Лоскутов, Р. И. Интродукция декоративных древесных растений в южной части Средней Сибири / Р. И. Лоскутов ; ред. И. Н. Елагин. – Красноярск, 1991. - 189 с.

137. Лоскутов, Р. И. Декоративные древесные растения в озеленении Академгородка (г. Красноярск) / сост. Лоскутов Р.И. - Красноярск : РИО-Пресс, 1997. – 17 с.

138. Лоскутов, Р. И. Декоративные древесные растения для озеленения городов и поселков / Р. И. Лоскутов. - Красноярск : Изд-во КГУ, 1993. - 184 с.

139. Лунц, Л. Б. Городское зеленое строительство / Л.Б. Лунц. – М.: Стройиздат, 1971. – 280 с.

140. Мазинг, В. В. Экосистема города, ее особенности и возможности оптимизации / В.В. Мазинг // Экологические аспекты городских экосистем. – 1984. – С. 181-191.

141. Мамиева, Е. Б. Липа мелколистная как биоиндикатор загрязнения атмосферного воздуха тяжелыми металлами / Е. Б. Мамиева, Л. В. Ширнина // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2017. – № 1(52). – С. 34-40.

142. Маслов, Н.В. Градостроительная экология / Н.В. Маслов; под ред. М.С. Шумилова. - М.: Высш. шк., 2002. – 284 с.
143. Матвеева, Р. Н. Интродукция деревьев и кустарников в условиях юга Средней Сибири / Р. Н. Матвеева, О.Ф. Буторова. - Красноярск : СибГТУ, 2009. - 128 с.
144. Матвеева, Р. Н. Интродукция растений в дендрарии СибГТУ / Р. Н. Матвеева, О. Ф. Буторова, А. Б. Романова. - Красноярск : СибГТУ, 2000. - 194 с.
145. Матяшенко, Г. В. Сосновые леса (*Pinus sylvestris* L.) как индикаторы атмосферного загрязнения / Г. В. Матяшенко, Г. А. Белоногова // Современные проблемы биоиндикации и биомониторинга. – 2001. – С. 313-314.
146. Машинский, Л. О. Город и природа (городские зеленые насаждения) / Л. О. Машинский. - М.: Стройиздат, 1973. - 228 с.
147. Машинский, Л.О. Проектирование озеленения жилых районов / Л. О. Машинский, Е. Г. Залогина. - М., 1978.-113 с.
148. Мерзленко, М. Д. В лесах Москвы / М. Д. Мерзленко. – М. : МГУЛ, 2004. – 122 с.
149. Методы изучения лесных сообществ / Е. Н. Андреева, И. Ю. Баккал, В. В. Горшков и др. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный университет, 2002. – 240 с.
150. Михайлюта, С.В. Особенности пространственно-временной динамики загрязнения атмосферы в условиях города (на примере г. Красноярска): автореф. дис. ... канд. тех. наук : 05.13.01 и 01.04.01 / Михайлюта Сергей Владимирович. – Красноярск, 2005. – 23 с.
151. Мокринец, К. С. Оценка геоморфологических условий территории г. Красноярска и его окрестностей как среды жизни человека : автореферат дис. ... канд. геогр. наук : 25.00.25 / Мокринец Кирилл Сергеевич. - Красноярск, 2012. - 22 с.

152. Морозова, Г.Ю. Растения в урбанизированной природной среде: формирование флоры, ценогенез и структура популяций / Г.Ю. Морозова, Ю.А. Злобин, Т.И. Мельник // Журнал общей биологии. – 2003. – Т.64. №2. – С. 66-180.

153. Мотылева, С. М. О накоплении тяжелых металлов в листьях и плодах различных сортов черной смородины в зависимости от фазы вегетации / С. М. Мотылева, М. В. Соснина // С.-х. биология. Сер. «Биология растений». – 1996. - №1. - С.67-71.

154. Наместникова, О. В. Мониторинг засоления почв в системе обеспечения экологической безопасности крупного города / О. В. Наместникова, М. В. Бузаева // Современные проблемы гражданской защиты. - 2019. - №1 (30). – С. 44-52.

155. Напрасникова, Е.В. Оценка экологического состояния почв промышленных городов Восточной Сибири / Е. В. Напрасникова // Экологические проблемы промышленных городов: Сб. науч. тр. – Саратов. - 2011. – С. 107-109.

156. Национальный проект «Экология» // Красноярский край. проектное управление : сайт. – URL : <http://project.krskstate.ru/nacprojects/ecologia> (дата обращения: 08.04.2022)

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

158. Неверова, О. А. Основные пути изменения жизнедеятельности древесных растений в условиях промышленного города Кемерово / О. А. Неверова // Экология промышленного производства. – 2001. – Вып.4. – С. 10-14.

159. Неверова, О. А. Оценка устойчивости древесных насаждений по степени нарушения ассимиляционного аппарата и крон деревьев / О. А. Неверова, В. С. Николаевский // Лесное хозяйство. - 2003. - №6. – С.31-32.

160. Никифорова, Е. М. Геохимическая оценка загрязнения тяжелыми металлами почв и растительности городских экосистем Перовского района города Москвы / Е. М. Никифорова, Г. Г. Пазукова // Вестник Московского университета, серия 5: География. - 1991. - №3. – С. 44-52.
161. Николаева, А. А. Законодательное регулирование удаления *Acer negundo* в Г. Москве / А. А. Николаева // Грани познания. – 2019. – № 6(65). – С. 106-108.
162. Николаевский, В. С. Биологические основы газоустойчивости растений / В. С. Николаевский. – Новосибирск: Наука, 1979. – 280 с.
163. Николаевский, В. С. Влияние промышленных газов на растительность / В. С. Николаевский // Региональный экологический мониторинг. – М.: Наука. 1983. – С. 205-222.
164. Николаевский, В. С. Методы оценки состояния древесных растений и степени влияния на них неблагоприятных факторов / В. С. Николаевский, Н. Г. Николаевская, Е. А. Козлова // Лесной вестник. – 1999. - №2(7). – С. 76-77.
165. Николаевский, В. С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации / В. С. Николаевский. – М. : МГУЛ, 1998. – 191 с.
166. Николаевский, В.С. Экологическая оценка загрязнения среды и состояния наземных экосистем методами фитоиндикации / В. С. Николаевский. - Пушкино : Всерос. науч.-исслед. ин-т лесоводства и механизации лес. хоз-ва, 2002. - 220 с.
167. Новикова, Н. Е. Физиологические основы устойчивости сельскохозяйственных растений / Н. Е. Новикова, В. И. Зотиков. – Орел: Изд-во ООО Полиграфическая фирма «Картуш», 2015. – 176 с.
168. Оповещения о наступлении неблагоприятных метеоусловий на территории г. Красноярска // Красноярск. Администрация города : сайт. - <http://www.admkrsk.ru/citytoday/ecology/Pages/NMU.aspx> (дата обращения (08.04.2020)).

169. Османова, Г.О. Вододерживающая способность листьев некоторых видов рода *Plantago* L. / Г.О. Османова, Н.В. Федорова // Принципы и способы сохранения биоразнообразия. – 2006. – С. 270-272.
170. Оценка воздействия загрязнения окружающей среды на растения методом регистрации относительного показателя замедленной флуоресценции хлорофилла / Ю. С. Григорьев, Е. С. Стравинскене, О. Е. Крючкова и др. // VI съезд биофизиков России. – 2019. – С. 373-374.
171. Павлов, И.Н. Древесные растения в условиях техногенного загрязнения / И. Н. Павлов. – Улан-Удэ: БНЦ СО РАН, 2006. – 370 с.
172. Панов, А. И. Изменчивость сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в городских посадках г. Красноярска: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.03.01 / Панов Алексей Иванович. - Красноярск, 2021. - 20 с.
173. Параскевопуло, М. Ф. Изучение пигментного состава некоторых видов древесных растений в условиях техногенного загрязнения города Красноярска / М. Ф. Параскевопуло, Л. Н. Сунцова, Е. М. Иншаков // Хвойные бореальной зоны. – 2017. – Т. XXXV. – № 1–2. – С. 54–59.
174. Парибок, Т. А. Содержание металлов в листьях деревьев в городе / Т. А. Парибок, Н. А. Созыкина, Г. А. Темп // Бот. журн. – 1982. –Т.67.№.11. – с. 1533-1539.
175. Пересмотр мировых перспектив урбанизации на 2018 год. [Электронный ресурс] // ООН : официальный сайт. – Режим доступа: URL : <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html> (дата обращения: 8.04.2022).
176. Пирогова, Д. В. Адаптация древесных растений к воздействию городской среды / Л.Н. Сунцова, Е.М. Иншаков // Хвойные бореальной зоны. - 2009. – Т.26. - №2. - С. 221 – 223.
177. Погода и климат : справочно-информационный портал : официальный сайт. – Москва, 2004. – URL: <http://www.pogodaiklimat.ru> (дата обращения: 8.04.2022)

178. Подзоров, Н.В. Пылефильтрующая способность насаждений / Н.В. Подзоров // Лесное хозяйство. – 1967. – № 1. – С. 39–40.
179. Покровская, Т.В. Климат Ленинграда и его окрестностей / Т. В. Покровская, А. Т. Бычкова. - Л. : 1967. - 199 с.
180. Полевой, В.В. Физиология роста и развития растений / В. В. Полевой, Т. С. Саламатова. – Л. : ЛГУ, 1991. – 238 с.
181. Половникова, М. Г. Эколого-физиологические особенности газонных растений на разных этапах онтогенеза в условиях городской среды : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Половникова Марина Григорьевна. – Нижний Новгород, 2007. – 24 с.
182. Полякова, Е.В. Особенности развития и жизнеспособность древесных растений в условиях городской среды (на примере г. Владивостока): автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.05 / Полякова Елена Владимировна. – Владивосток, 2004. – 23 с.
183. Попов, В. А. Газопоглотительная способность растений / В. А. Попов, Г. М. Негруцкая, В. К. Петрова // Газоустойчивость растений. – 1980. – С. 52-60.
184. Природные комплексы большого города: ландшафтно-экологический анализ / Э. Г. Коломыц, Г. С. Розенберг, О. В. Глебова и др. – М.: Наука "МАИК", 2000. - 286 с.
185. Протопопов, В. В. Средообразующая роль темнохвойного леса / В. В. Протопопов. – Новосибирск : Наука, 1975. – 328 с.
186. Протопопов, В.В. Роль зеленых насаждений в урбанизированных ландшафтах Сибири / В.В. Протопопов // Пути улучшения охраны окружающей среды г. Красноярска. – 1982. – С.65-68.
187. Протопопова, Е. Н. Рекомендации по озеленению городов и рабочих поселков Средней Сибири / Е. Н. Протопопова. - М. : Лесная промышленность, 1972. - 148 с.

188. Протопопова, Е.Н. Озеленение промышленных городов Красноярского края. Практические рекомендации / Е.Н. Протопопова – Красноярск : Сибирь, 1987. – 65 с.
189. Протопопова, Е.Н. Санитарно-гигиеническая роль зеленых насаждений г. Красноярска / Е.Н. Протопопова // Средообразующая роль лесных экосистем Сибири. – 1982. – С.76-85.
190. Протопопова, Е.Н. Современное состояние и научные основы озеленения промышленных городов Средней Сибири / Е.Н. Протопопова // Изменчивость и интродукция древесных растений Сибири. – 1984. – С. 161-168.
191. Пчелин, В. И. Дендрология / В. И. Пчелин. - Йошкар-Ола : МарГТУ, 2007. - 520 с.
192. Работнов, Т.А. Вопросы изучения состава популяций для целей фитоценологии / Т. А. Работнов // Проблемы ботаники. - 1950. - Вып. 1. - С. 465-483.
193. Рожков, А.С. Влияние фтористых выбросов алюминиевых заводов на хвойные растения / А. С. Рожков, М. К. Соколов // Газоустойчивость растений. – 1980. – С.169-170.
194. Россинина, А. А. Таксация древесных растений в урбанизированной среде (на примере г. Красноярска) : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.03.02 / Россинина Анна Анатольевна. – Красноярск, 2010. – 19 с.
195. Рохмистров, В. Л. Изменение дерново-подзолистых почв в условиях крупного промышленного центра / В. Л. Рохмистров, Т. Г. Иванова // Почвоведение. – 1985. – №5. – С. 17-21.
196. Рунова, Е. М. Влияние биотических факторов на состояние зеленых насаждений в городской среде / Е.М. Рунова, Л.Ч. Ворошилова // Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты. – 2005. – С. 27-29.

197. Рунова, Е. М. Комплексная оценка экологического состояния древесных растений урбоэкосистемы Братска по интегральному показателю устойчивости / Е. М. Рунова, И. И. Гаврилин, М. К. Гаврилина // Хвойные бореальной зоны. – 2012. – Т. 30. – № 3-4. – С. 312-315.
198. Рябинин, В. М. Лес и промышленные газы / В. М. Рябинин. – М.: Лесн. пром-ть, 1965. – 83 с.
199. Савинцева, Л. С. Экологический анализ адаптивных механизмов растений в урбанизированной среде : автореферат дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Савинцева Лариса Сергеевна. - Петрозаводск, 2015. - 23 с.
200. Саидов, Н. С. Биологические и эколого-физиологические особенности древесных растений в условиях городской среды : автореф. дис. ... канд. биол. наук :, 03.05.01; 03.02.01 / Саидов Нурали Садикович. – Душанбе. – 2010. – 25 с.
201. Сарбаева, Е.В. Физиологические механизмы адаптации *Thuja Occidentalis* L. в условиях урбанизированной среды / Е.В. Сарбаева, О.Л. Воскресенская // Принципы и способы сохранения. – 2006. – С. 331-332.
202. Сарбаева, Е.В. Эколого-физиологические адаптации различных декоративных форм туи западной в городских условиях / Е.В. Сарбаева // Современные аспекты экологии и экологического образования. – 2005. – С. 162-164.
203. Сарченко, В. И. Влияние жилой застройки на ветровые потоки в городе Красноярске / В. И. Сарченко, С. В. Михайлюта, С. А. Хиревич // Региональные рынки потребительских товаров: качество, экологичность, ответственность бизнеса. – 2019. – С. 63-68.
204. Сергейчик С. А. Влияние азотсодержащих газообразных токсикантов на пигменты пластид различных видов деревьев и кустарников / С. А. Сергейчик, Е. А. Шахнович // Труды ИПГ. Основы биологического контроля загрязнения окружающей среды. - 1988. – Вып. 72. - С. 25-38.

205. Сергейчик, С. А. Древесные растения и оптимизация промышленной среды / С. А. Сергейчик. – Мн.: Наука и техника, 1984. – 168 с.
206. Скрипальщикова, Л. Н. Пылеулавливающие свойства лесных экосистем в лесостепных районах Средней Сибири : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Скрипальщикова Лариса Николаевна. - Красноярск, 1997. – 19 с.
207. Смирнова, О.В. Критерии выделения возрастных состояний и особенности хода онтогенеза у растений различных биоморф / О.В.Смирнова, Л.Е. Заугольнова, И.Л. Торонова, Л. Д. Фаликова // Ценононуляции растений: Основные понятия и структура. - 1976. - С. 14-43.
208. Соболева, О. М. Комплексная оценка состояния ассимиляционного аппарата сосны обыкновенной в г. Новокузнецк / О. М. Соболева, Е.П. Кондратенко, Л.Г. Пинчук // Вестник АГАУ. – 2009. – №7. – С. 33 – 36.
209. Соловьева, Е. С. Экологические особенности актиномицетных комплексов городских почв : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Соловьева Евгения Николаевна. – Пермь, 2015. – 22 с.
210. Соловьева, И. Л. Оценка состояния зеленых насаждений улиц центральной части Хабаровска / И. Л. Соловьева, В. С. Грек, В. Л. Морин, У. Ю. Лысун // Динамика и состояние лесных ресурсов Дальнего Востока. - 2002. - С. 154-159.
211. Солодухин, Е.Д. Деревья, кустарники, лианы советского Дальнего Востока / Е.Д. Солодухин. - Уссурийск, 1962. - 222 с.
212. Сомов, Е. В. Дуб монгольский в озеленении улиц г. Хабаровска (распространение, состояние, структура насаждений) / Е. В. Сомов // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2019. – № 54. – С. 205-208.
213. Сомов, Е. В. Липа амурская в озеленении улиц г. Хабаровска (распространение, состояние, структура насаждений) / Е. В. Сомов, Д. Е.

Пархацкая // Актуальные проблемы лесного комплекса. – 2019. – № 54. – С. 209-212.

214. Сотникова, О. В. Эфирные масла сосны как индикатор загрязнения среды / О. В. Сотникова, Р. А. Степень // Химия растительного сырья. – 2001. – № 3. – С. 79-84.

215. Справочник по климату СССР. Ч. 1—5, вып. 21.— Л.: Гидрометеиздат, 1967.

216. Средняя Сибирь / отв. ред. Л. Г. Каманин, Б. Н. Лиханов. – Москва : Наука, 1964. – 480 с.

217. Ставникова, Л. В. Исследование загрязнения воздушной среды г. Красноярска биоиндикационными методами / Л. В. Ставникова, Р. А. Степень ; науч. ред. Б. Д. Левин. - Красноярск : СибГТУ, 2008. - 48 с.

218. Ставрова, Н. И. Влияние атмосферного загрязнения на семеношение хвойных пород / Н. И. Ставрова // Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. – 1990. – С.115-121.

219. Старикова, Е.А. Изменение пигментного комплекса ели колючей в условиях городской среды / Е. А. Старикова, О. Л. Воскресенская, Е. В. Сарбаева // Международный научно-исследовательский журнал. - 2016. - № 10-4 (52). - С. 46-48.

220. Степень, Р. А. Оценка загрязнения атмосферы биоиндикационными методами : / Р. А. Степень, О. А. Есякова, С. В. Соболева ; науч. ред. Б. Д. Левин. - Красноярск : СибГТУ, 2013. - 142 с.

221. Строганова, М. Н. Городские почвы: опыт изучения и систематики (на примере почв Юго-Западной части г. Москвы) / М.Н. Строганова, А. Д. Агаркова // Почвоведение. - 1992. - № 7. - С. 16-23.

222. Судачкова, Н. В. Состояние и перспективы изучения влияния стрессов на древесные растения / Н. В. Судачкова // Лесоведение. – 1998. – № 2. – С. 3 – 10.

223. Сунцова, Л.Н. Древесные растения в условиях техногенной среды г. Красноярска / Л. Н. Сунцова, Е. М. Иншаков // Хвойные бореальной зоны. - 2007. – Т.24. - № 1. – С. 95-99.

224. Сунцова, Л.Н. Комплексный анализ хвои ели сибирской в условиях техногенной среды г. Красноярска / Л. Н. Сунцова, Е. М. Иншаков, А. С. Донцов // Хвойные бореальной зоны. - 2014. – т.32, № 1-2. – С. 43 – 45.

225. Сунцова, Л. Н. Изучение пигментного состава листьев березы повислой в условиях города Красноярска. / Л. Н. Сунцова, Е. М. Иншаков // Ботанические исследования в Сибири. – Красноярск: ИП Дворядкина И. Д., 2018. – Вып. 26. – С.90 - 97.

226. Суслина М.А. Анализ состояния пигментного комплекса *рісеа obovata* и *рісеа pungens* в условиях техногенной среды города Красноярска / М. А. Суслина, Л. Н. Сунцова, Е. М. Иншаков // Хвойные бореальной зоны. - 2021. – Т. XXXIX, № 4. – С. 263–268.

227. Тарабрин, В. П. Фитотоксичность органических и неорганических загрязнителей / В. П. Тарабрин, Е. Н. Кондратюк, В. Г. Башкатов и др. – Киев: Наукова Думка, 1986. – 215 с.

228. Тарабрин, С. П. Водный режим и устойчивость древесных растений к промышленным загрязнениям / С. П. Тарабрин // Газоустойчивость растений. – Новосибирск: Наука, 1980. – С. 18-29.

229. Татаринцев А.И. Санитарное состояние насаждений вяза в г. Красноярске // Вестник КрасГАУ. – Выпуск 8. – 2012. – С. 68-72.

230. Татаринцев, А. И. Фитосанитарные аспекты в озеленении городов Сибири / А. И. Татаринцев // Технологии и оборудование садово-паркового и ландшафтного строительства. – 2020. – С. 137-139.

231. Тетиор, А. Н. Городская экология / А. Н. Тетиор. - 3-е изд., стер. - М. : Академия, 2008. - 336 с.

232. Токарев, А. В. Роль метеоусловий и рельефа местности в загрязнении атмосферы города Красноярска (Россия) / А. В. Токарев, Н. Я. Шапарев, О. Э. Якубайлик // Enviromis 2020 : Избранные труды

Международной конференции и школы молодых ученых по измерениям, моделированию и информационным системам для изучения окружающей среды, Томск, 07–11 сентября 2020 года. – Томск: Томский центр научно-технической информации, 2020. – С. 261-264.

233. Токин, Б.П. Целебные яды растений / Б. П. Токин. - Л.: Лениздат, 1987. - 288 с.

234. Третьякова, И. Н. Морфоструктура кроны и репродуктивная активность – признаки устойчивости хвойных в нарушенных лесных и урбосистемах Сибири / И. Н. Третьякова, Е. В. Бажина, В.А. Осколков // Классификация и динамика лесов Дальнего Востока. – 2001. – С. 298-300.

235. Третьякова, И. Н. Пыльца сосны обыкновенной в условиях экологического стресса / И. Н. Третьякова, Н. Е. Носкова // Экология. –2004. – №1. – С. 26-33.

236. Тригуб, В. И. Городские почвы как особый вид почв / В. И. Тригуб // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. География. Геология. - 2011. - №2-1. – С. 321-325.

237. Турмухаметова, Н. В. Адаптация березы повислой к условиям урбанизации / Н. В. Турмухаметова // Принципы и способы сохранения биоразнообразия. - 2006. – С. 336-337.

238. Турмухаметова, Н. В. Оценка состояния среды Йошкар-Олы по морфометрическим показателям *Betula pendula* Roth / Н. В. Турмухаметова // Известия Российской академии наук. Серия биологическая. – 2020. – № 2. – С. 197-204.

239. Уранов А. А. Возрастной спектр фитоценопопуляции как функции времени и эпергегических волновых процессов / А. А. Уранов // Научн. докл. высш. НК. БИОЛ. пауки. - 1975.- №2. - С. 7-34

240. Усенко, Н. В. Деревья, кустарники и лианы Дальнего Востока / Н. В. Усенко. - Хабаровск : Хабар, кн. изд-во, 1969. - 415 с.

241. Федорова, А. И. Практикум по экологии и охране окружающей среды / А.И. Федорова, А.Н. Никольская. - М.: Гуманит. изд. центр ВЛАДОС, 2001. - 288 с.
242. Физиология и биохимия сельскохозяйственных растений / Н. Н. Третьяков, Е. И. Кошкин, Н. М. Макрушин и др. ; под редакцией проф. Н.Н. Третьякова. – Москва : Издательство КолосС, 2005. – 656 с.
243. Фомина, Н. В. Эколого-биохимическая характеристика почв рекреационных зон / Н. В. Фомина. – Красноярск : Красноярский гос. аграрный ун-т, 2015. – 151 с.
244. Формирование морфологических структур годичного прироста древесных растений в условиях городской среды / И. Л. Бухарина, К. Е. Ведерников, Е. В. Пашков и др. // Сборник научных трудов SWorld. – 2012. – Т. 45. – № 4. – С. 72-79.
245. Фотосинтетическая деятельность растений в посевах (Методы и задачи учета в связи с формированием урожаев) / А. А. Ничипорович, Л. Е. Строгонова, С. Н. Чмора и др. - Москва : Изд-во Акад. наук СССР, 1961. - 135 с.
246. Фролов, А. К. Ассимиляционный аппарат кустарников под пологом лесостепной дубравы / А. К. Фролов // Вопросы экологической анатомии и физиологии растений. – 1978. – С. 91-100.
247. Фролов, А. К. Окружающая среда крупного промышленного города и жизнь растений в нем / А. К. Фролов. – СПб.: Наука, Ленингр. отделение, 1998. – 328 с.
248. Хакимов, Ф.И. Эколого-геохимическая характеристика почв промышленного города / Ф.И. Хакимов, Н.Ф. Деева, А.А. Ильина // Экология и почвы. Избранные лекции 1-7 Всероссийских школ. Пушкино, ОНТИ ПНЦ РАН. - 1998. – С.182-205.
249. Хикматуллина, Г. Р. Сравнение морфологических признаков листа *Betula pendula* в условиях урбаносреды / Г. Р. Хикматуллина // Вест. Удм. ун-та. – 2013. – Вып.2. - С. 48-57.

250. Хмелевская, И. А. Эколого-физиологические исследования древесных пород в г. Пскове / И. А. Хмелевская // Вестник Псковского государственного университета. Серия: Естественные и физико-математические науки. – 2008. – №6. – С. 37-57.
251. Ценопопуляции растений (основные понятия и структура) / О. В. Смирнова, Л. Б. Заугольнова, Н. М. Ермакова и др. - М.: Наука, 1976. - 215 с.
252. Чернышенко, О. В. Древесные растения в экстремальных условиях города / О. В. Чернышенко // Экология, мониторинг и рациональное природопользование: науч. труды. – М.: МГУЛ. - 2001. – Вып. 307(1). – С. 140-146.
253. Чернышенко, О. В. Особенности использования поглотительной способности древесных растений в современных фитотехнологиях / О. В. Чернышенко // Лесной вестник / Forester Bulletin. - 2018. – Т.22. №4. – С. 92-98.
254. Чернышенко, О. В. Поглотительная способность и газоустойчивость древесных растений в условиях города / О. В. Чернышенко. М. : МГУЛ, 2002.-120 с.
255. Чернышенко, О. В. Поглотительная способность и устойчивость древесных растений в озеленении Москвы / О. В. Чернышенко // Городское хозяйство и экология. – 1996. - №1. - С. 37-39.
256. Чернышенко, О. В. Пылефильтрующая способность древесных растений / О. В. Чернышенко // Вестник МГУЛ – Лесной вестник. - 2012. - №3 (86). – С. 7-10.
257. Чистякова, С.Б. Охрана окружающей среды / С. Б. Чистякова. – М.: Стройиздат, 1988. - 272 с.
258. Шатохина, С. Ф. Влияние химикатов на биологическую активность чернозема южного / С. Ф. Шатохина, С. И. Христенко // Почвоведение. – 1998. - С.957-958.

259. Шевченко, А. В. Техногенное осолонцевание почв Московской обл / А. В. Шевченко, Н. В. Апухтина, В. И. Савич // Известия ТСХА. - 2008. - №1. – С. 50-57.
260. Шихова, Н.С. Деревья и кустарники в озеленении города Владивостока / Н. С. Шихова, Е. В. Полякова. - Владивосток: Дальнаука, 2006. - 236 с.
261. Шмидт В. М. Математические методы в ботанике / В.М. Шмидт. – Л. : Изд-во ЛГУ, 1984. – 288 с.
262. Экологические проблемы урбанизированных территорий / А. Н. Антипов, В. А. Баландин, К. Ю. Вакулин и др. – Иркутск : ИГ СО РАН, 1998. – 198 с.
263. Экология крупного города (на примере Москвы) / под ред. А.А. Минина. – М.: Пасьева, 2001. – 192 с.
264. Яновский, В.М. Энтомоиндикация состояния лесных экосистем / В.М. Яновский // Мониторинг состояния лесных и урбоэкосистем. – 2002. – С. 78-79.
265. Ярмишко В. Т. Вертикально-фракционная структура надземной фитомассы сосны обыкновенной на северном пределе распространения и изменения ее под влиянием промышленного атмосферного загрязнения / В. Т. Ярмишко // География и экология: юбилейные Герценовские чтения. – 1999. – С.27-45.
266. Ярмишко, В. Т. Влияние атмосферного загрязнения на состояние лесных экосистем северо-запада Российской Федерации / В. Т. Ярмишко // Влияние атмосфер. загрязнения и др. антропог. и природ. факторов на дестабилиз. состояния лесов Центр. и Вост. Европы. – 1996. – Т.1. – С. 5-7.
267. Air pollution abatement performances of green infrastructure in open road and built-up street canyon environments – A review / K.V. Abhijith, P. Kumar, J. Gallagher, A. McNabola et.al. // Atmospheric Environment. – 2017. - Volume 162. – P. 71-86.

268. Bockheim, J. G. Nature and properties of highly-disturbed urban soils, Philadelphia, Pennsylvania / J. G. Bockheim. – Paper presented before Division S-5, 137 Soil Genesis, Morphology and Classification, Annual Meeting of the Soil Science Society of America, Chicago, IL, 1974.
269. Chen, D. Urban vegetation for reducing heat related mortality / D. Chen // Environmental pollution. – 2014. – T. 192. – P. 275-284.
270. Cohen, P. The impact of an urban park on air pollution and noise levels in the Mediterranean city of Tel-Aviv, Israel / P. Cohen, O. Potchter, I. Schnell // Environmental Pollution. – 2014. – T. 195. – P. 73-83.
271. Danielson, R. M. The ectomycorrhizal status of urban spruce / R. M. Danielson, M. Pruden // Mycologia. – 1989. – V. 81. - № 3. – P.335-341.
272. Dochinger, L. S. Interception of airborne particles by tree plantings. / L. S. Dochinger // J. Envir. Qual. - 1980. - №.2. – P. 265-268.
273. Escobedo, F. J. Spatial heterogeneity and air pollution removal by an urban forest / F. J. Escobedo, D. J. Nowak // Landscape and urban planning. – 2009. – T. 90. – №. 3-4. – P. 102-110.
274. Fick, G. W. Computer simulation of dry distribution during sugar beet growth / G. W. Fick, W.A. Williams, R. S. Loomis // Crop. Sci.,1973. – V.13. - №.4. – P.413-417.
275. Gago, E. J. The city and urban heat islands: A review of strategies to mitigate adverse effects / E. J. Gago // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – T. 25. – P. 749-758.
276. Geyer, B. Stadtokologie als junge Wissenschaftsdisziplin / B. Geyer // Stadtokologie und Kleingarten – verbesserte Chancen fur die Umwelt. – 2002. – P. 7-26.
277. Janhäll, S. Review on urban vegetation and particle air pollution– Deposition and dispersion / S. Janhäll // Atmospheric environment. – 2015. – T. 105. – P. 130-137.

278. Kasperidus, H. D. Stadte, Urbanisierung und Struktur der Stadt aus ökologischer Sicht / H. D. Kasperidus // Stadtokologie und Kleingarten – verbesserte Chancen für die Umwelt. – 2002. – P. 27-49.
279. Keller, T. Effect of SO₂ on the germination of conifer pollen / T. Keller, H. Beda // Environm. Pollut. – 1984. – Vol. 33, №3. – P. 237-243.
280. Kuzmin, P. A. An investigation of the biochemical composition of Norway maple (*Acer platanoides* L.) in the conditions of technogenic stress / P. A. Kuzmin, I. L. Bukharina, A. M. Kuzmina // Periodico Tch. Quimica. – 2020. – Vol. 17. – No 34. – P. 905-914.
281. Lee, S. H. A vegetated urban canopy model for meteorological and environmental modelling / S. H. Lee, S. U. Park // Boundary-Layer Meteorology. – 2008. – T. 126. – №. 1. – P. 73-102.
282. Li, X. Environment impact of heavy metals on urban soil in the vicinity of industrial area of Baoji city, P.R. China / Xiaoping Li, Chunchang Huang // Environmental Geology. – August 2007. – V. 52. – Is. 8. – P. 1631 – 1637.
283. Łukowski, A. Particulate matter on foliage of *Betula pendula*, *Quercus robur*, and *Tilia cordata*: deposition and ecophysiology / A. Łukowski, R. Popek, P. Karolewski // Environmental science and pollution research. – 2020. – P. 1-12.
284. Malhotra, S. S. Effects of sulphur dioxide on biochemical activity and ultrastructural organization of pine needles chloroplasts / S. S. Malhotra // New Phytol. – 1976. – № 2. – P. 239-245.
285. Manta, D.S. Heavy metals in urban soils: a case study from the city of Palermo (Sicily), Italy / Daniela Salvagio Manta, Massimo Angelone, Adriana Bellanca, Rodolfo Neri, Mario Sprovieri // Science of The Total Environment. – V. 300. – Is. 1– 3. – 2 December 2002. – P. 229 – 243.
286. Mikhailuta, S. V. Urban wind fields: Phenomena in transformation / S. V. Mikhailuta, A. A. Lezhenin, A. Pitt, O. V. Taseiko // Urban Climate. – 2017. – Vol. 19. – P. 122-140.

287. Oke, T. R. The energetic basis of the urban heat island / T. R. Oke // Q J R Meteorol Soc. – 1982. - P. 1–24.
288. Salmond, J. A. Health and climate related ecosystem services provided by street trees in the urban environment / J. A. Salmond et al. //Environmental Health. – 2016. – T. 15. – №. 1. – P. 95-111.
289. Tiwary, A. Collection of ambient particulate matter by porous vegetation barriers: Sampling and characterization methods / A. Tiwary, A. Reff, J. J. Colls //Journal of Aerosol Science. – 2008. – T. 39. – №. 1. – P. 40-47.
290. Waters, G. J. *Prunus maackii*, the Friends's Plant Dividend for 1986 / Gregory J. Waters // Arnoldia. - 1986. - Vol. 46 No. 2. - P. 11-12.
291. Wallace, A. Excess trace metal effects on calcium absorption in plants / A. Wallace // Commun. Soil Sci. and Plant Anal. - 1979. - № 1-2. - P. 473-477.
292. Weber, F. Herbaceous plants as filters: Immobilization of particulates along urban street corridors / F. Weber, I. Kowarik, I. Säumel // Environmental pollution. – 2014. – T. 186. – P. 234-240.

ПРИЛОЖЕНИЕ А

Результаты однофакторного дисперсионного анализа морфометрических параметров годичных побегов исследуемых видов

Таблица А.1 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на длину годичного побега *Betula pendula*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	102,987502	2	51,49375	869,9000347	3,06465E-25	3,354130829
Внутри групп	1,59826557	27	0,059195			
Итого	104,585767	29				

Таблица А.2 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на длину годичного побега *Betula pendula*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистралы
Контроль	-	3,03*	4,44*
Парки	3,03*	-	1,42*
Магистралы	4,44*	1,42*	-

Примечание: при $S_d=0,11$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,22$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.3 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на количество листьев на годичном побеге *Betula pendula*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	10,39885	2	5,199423704	152,9656988	1,86905E-15	3,354130829
Внутри групп	0,917751	27	0,033990782			
Итого	11,3166	29				

Таблица А.4 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на количество листьев на годичном побеге *Betula pendula*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистралы
Контроль	-	1,13*	1,34*
Парки	1,13*	-	0,22*
Магистралы	1,34*	0,22*	-

Примечание: при $S_d=0,08$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,17$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.5 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на сырую массу листа *Betula pendula*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	0,476052	2	0,238026	142,8345101	4,3628E-15	3,354130829
Внутри групп	0,044994	27	0,001666			
Итого	0,521046	29				

Таблица А.6 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на сырую массу листа *Betula pendula*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	0,26*	0,28*
Парки	0,26*	-	0,02
Магистраль	0,28*	0,02	-

Примечание: при $S_d=0,02$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,04$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.7 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на сухую массу листа *Betula pendula*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	0,202193	2	0,101097	157,0821298	1,34401E-15	3,354130829
Внутри групп	0,017377	27	0,000644			
Итого	0,21957	29				

Таблица А.8 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на сухую массу листа *Betula pendula*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	0,15*	0,19*
Парки	0,15*	-	0,04*
Магистраль	0,19*	0,04*	-

Примечание: при $S_d=0,01$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,02$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.9 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на площадь листа *Betula pendula*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	299,7618	2	149,8809	381,5581805	1,6017E-20	3,354130829
Внутри групп	10,60594	27	0,392813			
Итого	310,3677	29				

Таблица А.10 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на площадь листа *Betula pendula*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	4,69*	7,68*
Парки	4,69*	-	2,99*
Магистраль	7,68*	2,99*	-

Примечание: при $S_d=0,28$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,57$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.11 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на длину годичного побега *Padus maackii*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	245,6596931	2	122,8298465	1130,35161	9,36516E-27	3,354130829
Внутри групп	2,933959511	27	0,108665167			
Итого	248,5936526	29				

Таблица А.12 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на длину годичного побега *Padus maackii*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	5,92*	6,21*
Парки	5,92*	-	0,29
Магистраль	6,21*	0,29	-

Примечание: при $S_d=0,15$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,30$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.13 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на количество листьев на годичном побеге *Padus maackii*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	87,64177	2	43,82088481	170,0479925	4,999E-16	3,354131
Внутри групп	6,957823	27	0,25769716			
Итого	94,59959	29				

Таблица А.14 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на количество листьев на годичном побеге *Padus maackii*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	2,99*	4,03*
Парки	2,99*	-	1,04*
Магистраль	4,03*	1,04*	-

Примечание: при $S_d=0,23$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,47$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.15 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на сырую массу листа *Padus maackii*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	3,794005	2	1,897003	477,1562416	8,59037E-22	3,354130829
Внутри групп	0,107342	27	0,003976			
Итого	3,901347	29				

Таблица А.16 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на сырую массу листа *Padus maackii*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	0,70*	0,80*
Парки	0,70*	-	0,10*
Магистраль	0,80*	0,10*	-

Примечание: при $S_d=0,03$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,06$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.17 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на сухую массу листа *Padus maackii*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	1,121792	2	0,560896	559,3821964	1,06078E-22	3,354130829
Внутри групп	0,027073	27	0,001003			
Итого	1,148865	29				

Таблица А.18 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на сухую массу листа *Padus maackii*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	0,37*	0,44*
Парки	0,37*	-	0,07*
Магистраль	0,44*	0,07*	-

Примечание: при $S_d=0,01$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,03$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.19 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на площадь листа *Padus maackii*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	957,8392675	2	478,91963	2074,970983	2,76581E-30	3,354130829
Внутри групп	6,231812502	27	0,2308079			
Итого	964,07108	29				

Таблица А.20 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на площадь листа *Padus maackii*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	7,88*	13,79*
Парки	7,88*	-	5,92*
Магистраль	13,79*	5,92*	-

Примечание: при $S_d=0,21$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,44$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.21 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на длину годичного побега *Malus baccata*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	183,6881	2	91,84404	1433,209573	3,92968E-28	3,354130829
Внутри групп	1,730235	27	0,064083			
Итого	185,4183	29				

Таблица А.22 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на длину годичного побега *Malus baccata*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	4,70*	5,67*
Парки	4,70*	-	0,97*
Магистраль	5,67*	0,97*	-

Примечание: при $S_d=0,11$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,23$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.23 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на количество листьев на годичном побеге *Malus baccata*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	50,02904	2	25,01452	452,8253578	1,70688E-21	3,354130829
Внутри групп	1,491507	27	0,055240988			
Итого	51,52055	29				

Таблица А.24 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на количество листьев на годичном побеге *Malus baccata*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	2,45*	2,96*
Парки	2,45*	-	0,51*
Магистраль	2,96*	0,51*	-

Примечание: при $S_d=0,11$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,22$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.25 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на сырую массу листа *Malus baccata*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	2,748606	2	1,374303	436,0094714	2,80241E-21	3,354130829
Внутри групп	0,085104	27	0,003152			
Итого	2,83371	29				

Таблица А.26 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на сырую массу листа *Malus baccata*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	0,56*	0,70*
Парки	0,56*	-	0,14*
Магистраль	0,70*	0,14*	-

Примечание: при $S_d=0,03$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,05$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.27 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на сухую массу листа *Malus baccata*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	3,12782	2	1,56391	941,7389025	1,06658E-25	3,354130829
Внутри групп	0,044838	27	0,001661			
Итого	3,172657	29				

Таблица А.28 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на сухую массу листа *Malus baccata*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	0,57*	0,76*
Парки	0,57*	-	0,18*
Магистраль	0,76*	0,18*	-

Примечание: при $S_d=0,02$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,04$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.29 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на площадь листа *Malus baccata*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	620,5356	2	310,2678	2682,12692	8,82264E-32	3,354130829
Внутри групп	3,123354	27	0,11568			
Итого	623,659	29				

Таблица А.30 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на площадь листа *Malus baccata*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	8,69*	10,38*
Парки	8,69*	-	1,69*
Магистраль	10,38*	1,69*	-

Примечание: при $S_d=0,15$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,31$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.31 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на длину годичного побега *Tilia cordata*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	229,7349	2	114,8675	1613,296724	8,06318E-29	3,354130829
Внутри групп	1,922412	27	0,0712			
Итого	231,6573	29				

Таблица А.32 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на длину годичного побега *Tilia cordata*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	5,47*	6,20*
Парки	5,47*	-	0,74*
Магистраль	6,20*	0,74*	-

Примечание: при $S_d=0,12$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,24$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.33 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на количество листьев на годичном побеге *Tilia cordata*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	15,9413623	2	7,97068113	191,1403083	1,15113E-16	3,354130829
Внутри групп	1,1259184	27	0,04170068			
Итого	17,0672807	29				

Таблица А.34 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на количество листьев на годичном побеге *Tilia cordata*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	0,77*	1,78*
Парки	0,77*	-	1,01*
Магистраль	1,78*	1,01*	-

Примечание: при $S_d=0,09$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,19$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.35 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на сырую массу листа *Tilia cordata*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	8,864513	2	4,432257	290,3902473	5,53133E-19	3,354130829
Внутри групп	0,412104	27	0,015263			
Итого	9,276617	29				

Таблица А.36 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на сырую массу листа *Tilia cordata*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	1,04*	1,24*
Парки	1,04*	-	0,20*
Магистраль	1,24*	0,14*	-

Примечание: при $S_d=0,06$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,11$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.37 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на сухую массу листа *Tilia cordata*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	9,57316	2	4,78658	1010,765671	4,15849E-26	3,354130829
Внутри групп	0,127861	27	0,004736			
Итого	9,701022	29				

Таблица А.38 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на сухую массу листа *Tilia cordata*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	0,99*	1,33*
Парки	0,99*	-	0,34*
Магистраль	1,33*	0,34*	-

Примечание: при $S_d=0,03$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,06$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

Таблица А.39 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа по влиянию условий произрастания на площадь листа *Tilia cordata*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	1342,428	2	671,2139	1354,172385	8,38973E-28	3,354130829
Внутри групп	13,38292	27	0,495664			
Итого	1355,811	29				

Таблица А.40 – Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания на площадь листа *Tilia cordata*

Условия произрастания	Контроль	Парки	Магистраль
Контроль	-	11,82*	15,74*
Парки	11,82*	-	3,92*
Магистраль	15,74*	3,92*	-

Примечание: при $S_d=0,31$; $t_{st05}=2,05$; $НСР_{05}=0,65$; * - достоверные отличия между средними при $p < 0,05$

ПРИЛОЖЕНИЕ Б

Результаты двухфакторного дисперсионного анализа водоудерживающей способности листьев исследуемых видов

Таблица Б.1 – Результаты дисперсионного двухфакторного анализа водоудерживающей способности листьев *Betula pendula*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	91,7743333	2	45,88716667	140,2244921	4,14691E-22	3,168245967
Период вегетации	115,0935	1	115,0935	351,7089582	2,60857E-25	4,019540907
Взаимодействие	7,303	2	3,6515	11,1584517	8,78763E-05	3,168245967
Внутри	17,671	54	0,327240741			
Итого	231,841833	59				

Таблица Б.2 - Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания и периода вегетации на водоудерживающую способность листьев *Betula pendula*

Условия произрастания (А)	Период вегетации (В) (средние значения признака)		Средние по фактору А (НСР ₀₅ =0,36)
	июль	август	
контроль	6,32	9,82	8,07
парки	5,41	8,39	6,9
магистралей	4,15	5,98	5,065
Средние по фактору В (НСР ₀₅ =0,30)	5,29	8,06	
НСР ₀₅ = 0,51 для сравнения частных средних			

Таблица Б.3 – Результаты дисперсионного двухфакторного анализа водоудерживающей способности листьев *Padus maackii*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	29,671	2	14,8355	33,12454	4,0966E-10	3,168245967
Период вегетации	7,004167	1	7,004166667	15,63882572	0,000224938	4,019540907
Взаимодействие	50,49633	2	25,24816667	56,37382675	6,012E-14	3,168245967
Внутри	24,185	54	0,44787037			
Итого	111,3565	59				

Таблица Б.4 - Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания и периода вегетации на водоудерживающую способность листьев *Padus maackii*

Условия произрастания (А)	Период вегетации (В) (средние значения признака)		Средние по фактору А (НСР ₀₅ =0,43)
	июль	август	
контроль	8,04	5,22	6,63
парки	5,81	4,92	5,37
магистралей	6,18	7,84	7,01
Средние по фактору В (НСР ₀₅ =0,35)	6,68	5,99	
НСР ₀₅ = 0,60 для сравнения частных средних			

Таблица Б.5 – Результаты дисперсионного двухфакторного анализа водоудерживающей способности листьев *Tilia cordata*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	135,2841481	2	67,64207407	173,3835857	3,13721E-24	3,168245967
Период вегетации	385,2355741	1	385,2355741	987,4553093	2,20397E-36	4,019540907
Взаимодействие	248,3134815	2	124,1567407	318,2448379	1,31035E-30	3,168245967
Внутри	21,067	54	0,39012963			
Итого	789,9002037	59				

Таблица Б.6 - Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания и периода вегетации на водоудерживающую способность листьев *Tilia cordata*

Условия произрастания (А)	Период вегетации (В) (средние значения признака)		Средние по фактору А (НСР ₀₅ =0,40)
	июль	август	
контроль	9,18	9,95	9,57
парки	4,72	8,62	6,67
магистралей	4,82	15,35	10,09
Средние по фактору В (НСР ₀₅ =0,32)	6,24	11,31	
НСР ₀₅ = 0,56 для сравнения частных средних			

Таблица Б.7 – Результаты дисперсионного двухфакторного анализа водоудерживающей способности листьев *Malus baccata*

Источник вариации	SS	df	MS	F	P-Значение	F критическое
Условия произрастания	95,69233333	2	47,84616667	84,29392189	2,46657E-17	3,168245967
Период вегетации	574,7415	1	574,7415	1012,562102	1,15773E-36	4,019540907
Взаимодействие	99,541	2	49,7705	87,68415386	1,09706E-17	3,168245967
Внутри	30,651	54	0,567611111			
Итого	800,6258333	59				

Таблица Б.8 - Оценка значимости разности между средними по наименьшей существенной разнице (НСР). Влияние условий произрастания и периода вегетации на водоудерживающую способность листьев *Malus baccata*

Условия произрастания (А)	Период вегетации (В) (средние значения признака)		Средние по фактору А (НСР ₀₅ =0,48)
	июль	август	
контроль	7,17	9,85	8,51
парки	6,68	15,47	11,08
магистралей	7,74	14,84	11,29
Средние по фактору В (НСР ₀₅ =0,39)	7,20	13,39	
НСР ₀₅ = 0,68 для сравнения частных средних			