



На правах рукописи

Бухарина

**БУХАРИНА
ИРИНА ЛЕОНИДОВНА**

**БИОЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ
РАСТЕНИЙ И ОБОСНОВАНИЕ ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ В
ЦЕЛЯХ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ОПТИМИЗАЦИИ
УРБАНОСРЕДЫ
(НА ПРИМЕРЕ г. ИЖЕВСКА)**

Специальность 03.00.16 – экология

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора биологических наук

23 ЯНВ 2009

Тольятти – 2009

Работа выполнена в Федеральном государственном образовательном
учреждении высшего профессионального образования
«Ижевская государственная сельскохозяйственная академия»

НАУЧНЫЙ
КОНСУЛЬТАНТ:

Доктор биологических наук, профессор
Туганаев Виктор Васильевич

ОФИЦИАЛЬНЫЕ
ОППОНЕНТЫ:

Член-корреспондент РАН, доктор биологических
наук, профессор
Титов Александр Федорович

Доктор биологических наук, профессор
Кулагин Андрей Алексеевич

Доктор биологических наук, профессор
Кавеленова Людмила Михайловна

ВЕДУЩАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ:

Ботанический сад УРО РАН

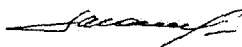
Защита состоится **11 февраля 2009 г. в 11 часов** на заседании диссертационного совета Д 002.251.01 при Институте экологии Волжского бассейна РАН по адресу: 445003, Самарская обл., г. Тольятти, ул. Комзина, 10

Тел.(8482) 489977, тел./факс (8482) 489504, E-mail: ievbras2005@mail.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института экологии Волжского бассейна РАН, с авторефератом – на сайте ВАК www.vak.ed.gov.ru

Автореферат разослан «26» декабря 2008 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



А.Л. Маленев

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Высокие темпы урбанизации, наблюдаемые в настоящем, и соответствующие прогнозы поставили вопросы улучшения экологической обстановки в городах в ряд важнейших задач современности. Стабилизировать и оптимизировать урбаносреду возможно лишь путем поддержания на высоком уровне жизнедеятельности растений.

Особенности жизнедеятельности и экологическая роль древесных растений в городах изучались многими известными учеными (Кулагин, 1974; Тарабрин, 1974; Николаевский, 1979, 2002; Сергейчик, 1984; Горьшина, 1991; Неверова, 1999, 2001, Кавеленова 2003 и др.). Важные характеристики растений, отражающие особенности адаптации к окружающим условиям, ритм роста и развития, ассимиляционная активность, изменение биохимического состава применительно к урбаносреде изучены далеко не в полной мере и требуют более детальной разработки.

Современные города представляют собой природно-антропогенные образования с интенсивно используемыми территориями. Это делает необходимым решение задач эффективного научно-обоснованного экологического их обустройства и, прежде всего, с использованием зеленых насаждений, для чего необходимо обладать достаточной информацией об эколого-физиологическом состоянии древесных растений, позволяющей оценить функциональный вклад каждого вида в изменение качества среды в направлении ее улучшения.

При разработке проектов экологической оптимизации урбаносреды нельзя полагаться лишь на возможности насаждений города, поэтому пригородные территории следует использовать в качестве «поставщиков» основных экологических ресурсов, а это требует пересмотра концептуальных подходов к их организации.

Цель работы – на основании анализа эколого-биологических особенностей древесных растений, произрастающих в различных структурно-функциональных насаждениях, обосновать их использование в экологической оптимизации урбаносреды в лесной зоне Предуралья (на примере г. Ижевска).

Для достижения поставленной цели решались следующие задачи:

1. Изучить видовой состав, жизненное состояние, особенности ритмов сезонного развития и формирования морфоструктуры годичного побега древесных растений в насаждениях различного экологического назначения.
2. Выявить особенности и эффективность физиолого-биохимических адаптивных реакций (ассимиляционная активность, водоудерживающая способность), участия элементов антиоксидантной системы защиты (аскорбиновой кислоты и фенольных соединений) у древесных растений в условиях урбаносреды.

3. Установить особенности динамики химических элементов в побегах древесных растений в отдельные периоды вегетации в условиях интенсивной техногенной нагрузки.

4. Оценить возможность использования изученных физиолого-биохимических и морфологических параметров для оперативного мониторинга.

5. Дать экологическую оценку городским и пригородным насаждениям как средообразующему фактору и на этой основе разработать направления и принципы экологической оптимизации урбаноекосистем.

Несмотря на зональные различия, различия транспортно-промышленного комплекса, ряд экологических проблем большинства крупных промышленных центров носит общий характер. В качестве модели крупного промышленного центра выбран г. Ижевск с населением свыше 630 тыс. человек, развитой промышленностью, транспортной сетью и социальной инфраструктурой. Уровень загрязнения в г. Ижевске соответствует среднестатистическим показателям городов России. Такого рода исследования в Ижевске проводятся впервые.

Научная новизна. Материалы исследований углубляют и расширяют существующие представления об особенностях роста и развития, метаболизма, роли низкомолекулярных компонентов антиоксидантной системы защиты в адаптации растений к условиям урбаноcреды, динамике основных элементов минерального питания в структурных частях растений. Впервые для лесной зоны Предуралья на основе комплексного изучения физиолого-биохимических показателей выявлены общие и видоспецифические особенности адаптивных реакций у местных и интродуцированных видов древесных растений в различных структурно-функциональных типах насаждений города. Оценена возможность использования регионально значимых, видовых особенностей физиолого-биохимических и морфологических реакций растений в биомониторинге урбаноcреды. Дана оценка функционального вклада видов древесных растений, городских и пригородных насаждений в экологическую оптимизацию урбаноcреды.

Установлено, что многие виды древесных растений, хотя и имеют хорошие показатели жизненного состояния, но существенно отличаются физиологически, обладают разной функциональной активностью и продуктивностью в условиях техногенной нагрузки, поэтому лишь некоторые из них должны стать основой ассортимента насаждений современных интенсивно развивающихся уплотненных урбанизированных образований.

Автором город рассматривается как явление биосферы, в котором важнейшие компоненты – древесные растительные организмы из-за ограниченности площадей и влияния техногенной нагрузки ослабляют свои средообразующие функции и снижают способность к поддержанию равновесного состояния среды.

Сформулировано представление о пригородных территориях, являющихся для города поставщиками не только вещества и энергии, но и важнейших экологических ресурсов, в связи с чем, обозначены концептуальные положения организации структуры и режима лесопользования городских и пригородных насаждений.

Теоретическое значение работы. Материалы, изложенные в диссертации, сформулированные в ней научные положения и выводы, вносят вклад в развитие теоретических основ экологии и экологической физиологии растений, в разработку проблем оптимизации городской среды.

Практическая значимость результатов заключается в разработке системного подхода к созданию и формированию городских насаждений различного функционального назначения и пригородной зеленой зоны. Сведения о современном состоянии древесных насаждений используются в практике ведения зеленого хозяйства в г. Ижевске.

Связь темы диссертации с плановыми исследованиями. Работа выполнялась при поддержке гранта «Университеты России» № УР 07.01.050, в рамках научно-исследовательских тем по контрактам с Министерством природных ресурсов и охраны окружающей среды УР (№ 83-Э от 16.08.2006 г. и № 85-Э от 7.11.2007 г.), а также включена в перечень научно-исследовательских тем Ижевской государственной сельскохозяйственной академии (Рег. № 01.2.007. 08861).

Реализация результатов исследования. Результаты исследований автора включены в Доклады об экологической обстановке в г. Ижевске в 2005-2007 гг. Управления природных ресурсов и охраны окружающей среды Администрации г. Ижевска, находят применение в работе отдела озеленения Главного Управления архитектуры и градостроительства г. Ижевска, используются при чтении курсов «Общая экология» и «Урбаноэкология» в Удмуртском государственном университете и «Экология леса», «Физиология растений» в Ижевской государственной сельскохозяйственной академии.

Апробация работы. Основные результаты исследований были представлены на научных конференциях различного статуса: международной конференции «Мониторинг состояния лесных и урбо-экосистем» (Москва, 2002); International Iran and Russia Conference «Agriculture and Natural Resources» (Москва, 2002); Всероссийской конференции «Принципы и способы сохранения биоразнообразия» (Йошкар-Ола, 2004, 2006); международной конференции «Безопасность. Технологии. Управление» (Тольятти, 2005); международной конференции «Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты» (Томск, 2005); Всероссийской конференции «Современные проблемы аграрной науки и пути их решения: секция «урбано- и агроэкология»» (Ижевск, 2005); Всероссийской конференции «Современные аспекты экологии и экологического образования» (Казань, 2005),

международной конференции «Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон» (Санкт-Петербург, 2005); международной конференции «Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов» (Кемерово, 2006); международной конференции «Творческое наследие В.И. Вернадского и проблемы формирования современного экологического сознания («Вернадские чтения»)» (Донецк, 2007); международной конференции памяти А.Л. Чижевского «Актуальные проблемы современного естествознания» (*Advances in Modern Natural Sciences*) (Калуга, 2007); Всероссийском семинаре «Современное состояние и пути развития популяционной биологии» (Ижевск, 2008).

Декларация личного участия автора. Автором определены цель и задачи, разработана программа и осуществлена организации исследований. Основная часть работ по сбору полевого материала и его лабораторному анализу, математической обработке цифрового материала, а также вся работа по обобщению и интерпретации полученных результатов, написанию текста диссертации выполнена автором самостоятельно. На определенных этапах исследования по теме диссертации проводились совместно с Т.М. Поварничиной, К.Е. Ведерниковым и А.А. Двоглазовой. Доля участия автора в подготовке публикаций работ в соавторстве составляет 70-90%.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Эколого-биологические реакции древесных растений в составе насаждений разных экологических категорий в урбосреде видоспецифичны. Виды древесных растений сходного жизненного состояния характеризуются разной функциональной активностью и обладают различным средообразующим потенциалом, что должно определять их место в системе искусственных насаждений.

2. В условиях урбаносреды изменены ритмы сезонного развития, характер формирования годичного прироста, состав химических элементов в побегах древесных растений. Данные эколого-физиологических исследований могут быть использованы при оценке перспектив развития озеленения города и пригородной зоны.

3. В адаптации древесных растений к урбаносреде важную роль играют компоненты низкомолекулярной антиоксидантной системы защиты (аскорбиновая кислота, фенольные соединения).

4. Регионально значимые видовые особенности физиологических и морфологических реакций растений, формирующиеся в условиях техногенного загрязнения, представляют интерес для целей оперативного мониторинга состояния урбанозкосистем.

5. Принципиально улучшить экологическую обстановку в урбаносреде таких промышленных центров как г. Ижевск возможно через оптимизацию состава и структуры зеленых насаждений города с обязательным привлечением экологических

ресурсов зеленой зоны. Урбозкосистемы можно рассматривать в качестве своеобразных моделей изучения изменений, происходящих в биосфере.

Публикации. Автором опубликовано 89 научных работ, по теме диссертации – 68, из которых 10 статей в научных журналах и сборниках, рекомендованных ВАК РФ и 1 монография.

Структура и объем работы Диссертация изложена на 474 страницах машинописного текста, состоит из введения, 8 глав, выводов, списка литературы, включающего 501 источник, из которых 46 – на иностранных языках, 25 приложений. Работа содержит 39 таблиц и 45 рисунков.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Глава 1. ГОРОД КАК ЭКОСИСТЕМА

Дана общая характеристика города как специфической экологической среды. Приводится обзор работ отечественных и зарубежных авторов по изучению влияния антропогенных факторов на процессы жизнедеятельности растений, формирования механизмов адаптации древесных растений к условиям урбанизированной среды, средообразующей роли древесных насаждений. Приведена характеристика особенностей изменения флористического состава урбанизированных территорий. Обозначена роль городов в процессах изменения состояния биосферы (Илькун, 1971; Чуваев, Кулагин, Гетко, 1973; Кулагин, 1974; Антипов, 1979; Николаевский, 1979, 2002; Владимиров, 1982; Израэль, 1984; Алексеев, 1987; Сергейчик, 1984, 1985; Краснощекова, 1987; Безуглая, Расторгуева, Смирнова, 1991; Горышина, 1991; Усманов, Рахманкулова, Кулагин, 2001; Чернышенко, 2001; Николаевский, 2002; Морозова, Злобин, Мельник, 2003; Неверова, Колмогорова, 2003; Кулагин, Шагиева, 2005; Кавеленова, 2006; Bassuk, Whitlow, 1988; Darral, 1989; Durand, 1989; Rumelhart, 1989; Lidon, Henriques, 1993; Forman, Alexander, 1998; Hegemeier, 1999 и др.).

Глава 2. ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ (г. ИЖЕВСК)

Приведена характеристика физико-географического положения и климатических условий г. Ижевска. Климат Ижевска характеризуется как умеренно континентальный, продолжительность солнечного сияния составляет в среднем 1839 часов в год. Средняя годовая температура воздуха +2,4 °С, в последнее десятилетие она возросла примерно на 0,07 °С. Безморозный период в среднем длится 128 дней. Годовое количество осадков в городе неравномерно распределено по месяцам и в среднем составляет 508 мм (Климат Ижевска, 1979; Макальская, 1998; Природа..., 2000). В главе представлен анализ метеорологических условий периода исследований.

Дана обзорная характеристика транспортно-промышленного комплекса города. Ведущими отраслями промышленности являются металлургия, теплоэнергетика, металлообработка и машиностроение. В последние годы в Ижевске произошли изменения в характере территориального распределения загрязнителей: сократились выбросы от стационарных источников, но усилилось негативное воздействие выбросов от автотранспорта (Стурман, 1998, 2005; Доклад об экологической обстановке..., 2005-2007).

Глава 3. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проведены в 2002-2007 гг. по программе, представленной на рис. 1. Объект исследований – древесные растения, наиболее широко используемые в озеленении города, формирующие различные антропогенные сообщества и представленные в составе насаждений разных экологических категорий: магистральных посадках (улицы Удмуртская и К. Либкнехта) и санитарно-защитных зонах ведущих промышленных предприятий – ОАО «Ижсталь», «Нефтемаш», «Буммаш», «Автозавод», ИЭМЗ (Набережная Ижевского водохранилища). Согласно методическим подходам С.Н. Краснощековой (1987), в качестве зон условного контроля (ЗУК) выбраны территории Ботанического сада УдГУ (северная окраина города) и городского парка ландшафтного типа (ЦПКиО им. С.М. Кирова). Выбор насаждений проведен с учетом зонирования города по степени загрязнения почвы и атмосферного воздуха.

На основании описания пробных площадей проведены отбор и нумерация учетных растений. Для характеристики роста и физиолого-биохимических исследований отобраны особи средневозрастного генеративного и хорошего или удовлетворительного жизненного состояния. Наблюдения проведены за более чем 800 учетными растениями.

Анализы проводили в лаборатории физиологии и биохимии растений и лаборатории агрохимического анализа ФГОУ ВПО «Ижевская ГСХА». Содержание химических элементов – приоритетных загрязнителей (Zn, Cu, Mn, Mo, Co, Cd, Ni, Cr, Pb) в образцах почв и листьев древесных растений (отбор проб в соответствии с ГОСТ 17-4.4.02-84) определяли методом атомно-эмиссионной спектроскопии (спектрометр типа СЭ-1 на базе дифракционного спектрографа ДФС-458С и регистрирующих устройств типа ФП-4) в аккредитованной лаборатории экологического контроля Казанского государственного университета.

Математическую обработку материалов провели с применением статистического пакета «Statistica 5,5». Использованы методы описательной статистики, дисперсионный многофакторный анализ (при последующей оценке различий методом множественного сравнения LSD-test), кластерный, корреляционный анализы (коэффициент ранговой корреляции Спирмена) и метод главных компонент.

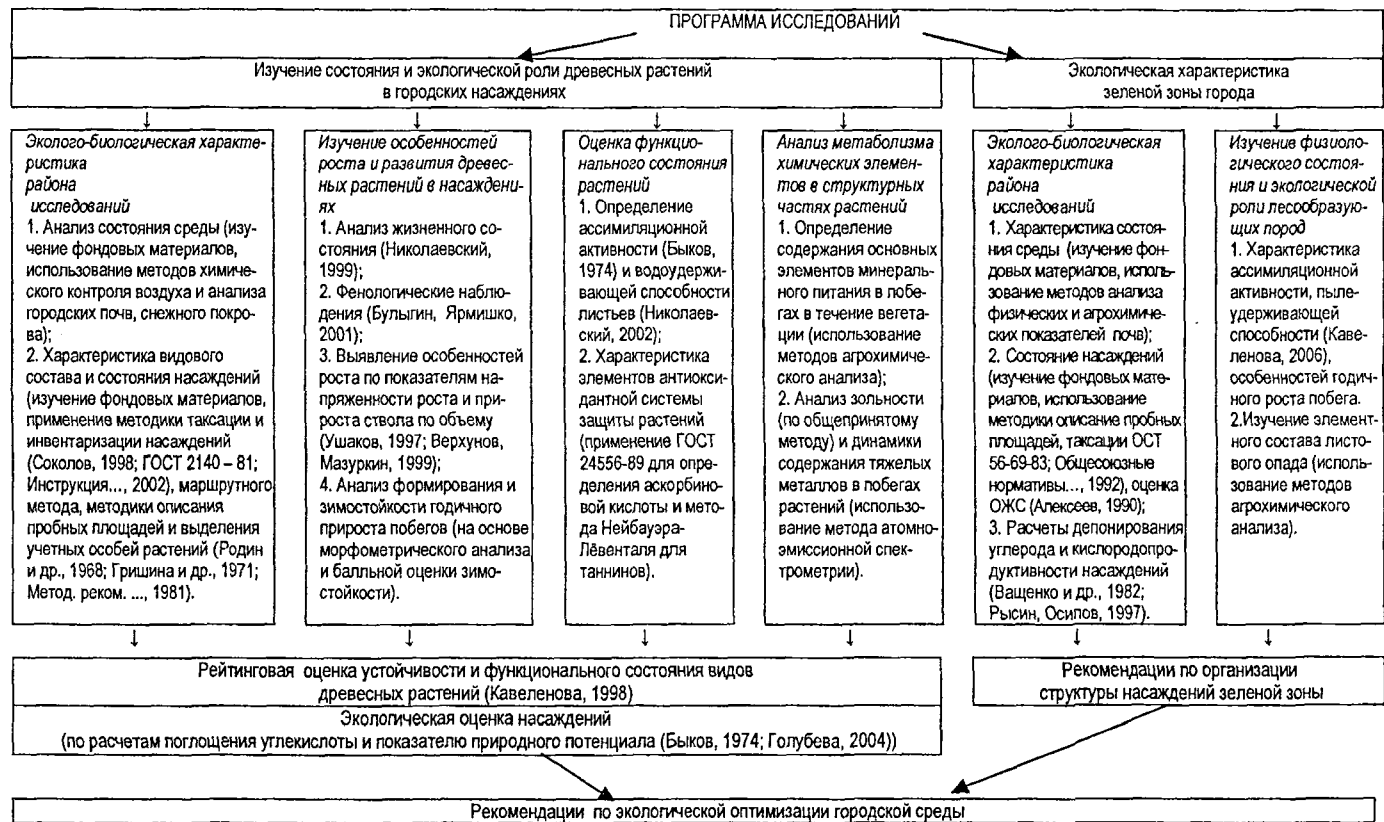


Рис. 1 – Схема программы исследований

Глава 4. СОСТОЯНИЕ И ВИДОВОЙ СОСТАВ ДРЕВЕСНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ГОРОДА ИЖЕВСКА

По сравнению с пригородной и парковой зонами в санитарно-защитных зонах (СЗЗ) и особенно вдоль магистралей наблюдается высокий уровень загрязнения почв и снежного покрова. Здесь же зафиксированы наиболее высокие значения комплексного индекса загрязнения атмосферы (ИЗА), изменены агрохимические и физические свойства почв (содержание элементов минерального питания, значения рН, полевая влажность почв, плотность сложения). В магистральных посадках для почв характерно довольно высокое содержание органических веществ. Среди промышленных предприятий наибольшая техногенная нагрузка характерна для санитарно-защитных зон предприятий «Ижсталь», «Буммаш» и «Автозавод». Кроме наличия загрязняющих веществ неблагоприятным для древесных насаждений фактором являются недостаток влаги, освещение в ночное время, значительная высота и плотность снежного покрова в зимний период, отсутствие полноценного ухода за насаждениями.

Материалы инвентаризации насаждений санитарно-защитных зон промышленных предприятий и магистральных посадок свидетельствует о том, что они по структуре и площадям не соответствуют требуемым нормативам. В насаждениях преобладают деревья в возрасте свыше 40 лет, что отражает тенденцию «старения» зеленого фонда города и актуальность проведения работ по компенсационному озеленению и реконструкции насаждений. Видовой состав насаждений включает 143 вида древесных растений, большая часть из которых (104 вида) являются интродуцентами из Северной Америки, Дальнего Востока, Западной и Восточной Сибири, Западной Европы и Кавказа. В систематическом спектре наиболее многочисленны виды семейств *Salicaceae*, *Rosaceae* и *Betulaceae*. В озеленении Ижевска недостаточно используются хвойные деревья и кустарники. В главе приведена эколого-биологическая характеристика видов, являющихся объектами исследований.

Глава 5. ОСОБЕННОСТИ РОСТА И РАЗВИТИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

Несмотря на довольно широкий ассортимент видов древесных растений, основная доля озелененной территории г. Ижевска занята девятью видами. Они, а также ель колючая (*Picea pungens* Engelm.), как вид, перспективный в озеленении города, стали объектами наших исследований. Физиологическую активность и состояние древесных растений, их функциональный вклад в оптимизацию городской среды изучали и оценивали по показателям роста и развития, ассимилирующей и аккумулирующей способности.

5.1 Характеристика жизненного состояния древесных растений

Невысокая жизненность характерна для растений, произрастающих в магистральных посадках. Значительного снижения жизненного состояния (ЖС) растений в промзонах нами не выявлено. Наименьшими баллами ЖС характеризуются липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), ива козья (*Salix caprea* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), роза майская (*Rosa majalis* Herzm.), тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.) и карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.) за счет сокращения живой площади и возрастания доли поврежденных болезнями и вредителями листьев (рис. 2, 3).

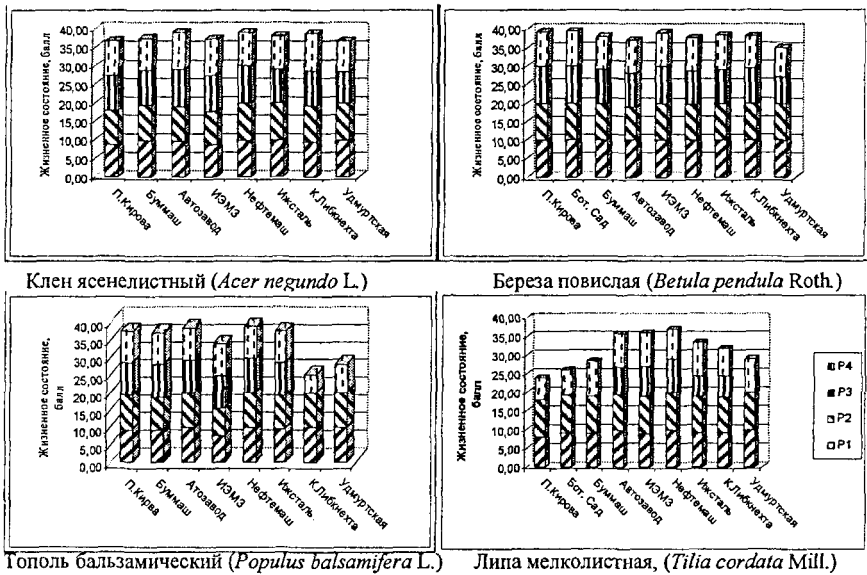


Рис. 2 – Жизненное состояние деревьев, произрастающих в различных районах г. Ижевска

Примечание: P₁ – количество живых ветвей в кронах деревьев; P₂ – степень облиствленности крон; P₃ – количество живых (без некрозов) листьев в кронах; P₄ – среднее количество живой площади листа.

Высокие баллы жизненности отмечены у березы повислой (*Betula pendula* Roth.), клена ясенелистного (*Acer negundo* L.) и яблони ягодной (*Malus baccata* L.). У тополя бальзамического и караганы древовидной выявлена корреляционная связь ЖС и содержания окислов азота в атмосферном воздухе ($r = 0,76$, $n = 80$, $P < 2,35E-07$). Следовательно, указанные виды наиболее широко могут использоваться при создании насаждений в районах города с высоким содержанием данных соединений в атмосферном воздухе.

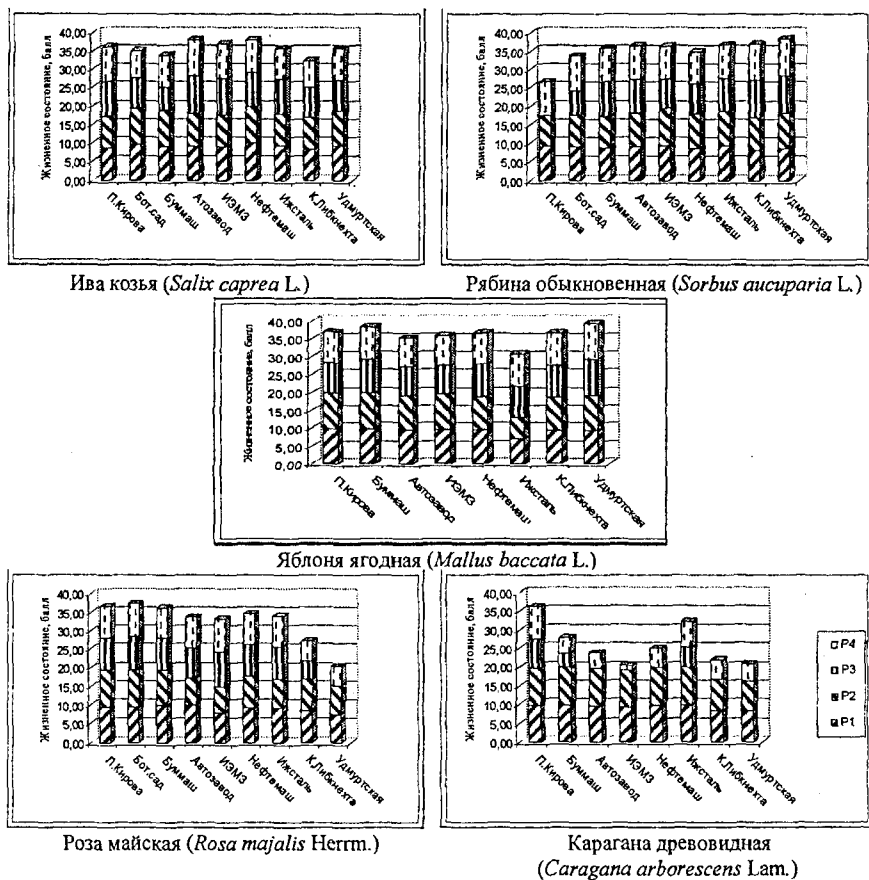


Рис. 3 – Жизненное состояние низкорослых деревьев и кустарников, произрастающих в различных районах г. Ижевска

Примечание: P₁ – количество живых ветвей в кронах деревьев; P₂ – степень облиственности крон; P₃ – количество живых (без некрозов) листьев в кронах; P₄ – среднее количество живой площади листа.

5.2 Особенности сезонного ритма развития древесных растений

У древесных растений в условиях урбанизированной среды возрастает продолжительность активной вегетации, но при этом значительно сокращаются критические периоды развития, связанные с распусканием почек, формированием генеративных структур, опылением и оплодотворением. Особенно четко эта реакция проявляется в неблагоприятные для жизнедеятельности растений по метеорологическим условиям годы. Выявлены различия в ритмах развития местных и интродуцированных видов. В основе фенологического развития растений лежит наслед-

ственно закреплённая ритмичность и периодичность физиологических процессов. Нарушение феноритмов в условиях города, безусловно, влияет на физиологическое состояние древесных растений, их ассимиляционную активность, устойчивость и средообразующие функции.

5.3 Формирование и развитие годичного прироста древесных растений

Показателем функционального состояния является характер роста побегов древесных растений. По совокупности морфометрических показателей годичного побега изучаемые виды подразделяются на два больших кластера, в одном из которых объединены клен ясенелистный и рябина обыкновенная, во втором – остальные виды.

Анализ сопряженной изменчивости морфологических признаков годичного побега древесных растений позволил установить, что главная компонента 1 отражает параметры ассимиляционного аппарата растений и высоко значимо отрицательно коррелирует с сырой и сухой массой, а также с площадью листьев, при этом на нее приходится 39% изменчивости. Главная компонента 2 охватывает 15% изменчивости и высоко значимо отрицательно коррелирует с длиной годичного побега. Главные компоненты 3 и 4 можно характеризовать как компоненты числа метамеров побега и массы единицы площади листа, с которыми они высоко значимо отрицательно коррелируют и охватывают соответственно 14 и 10% изменчивости.

Построение графиков положения объектов изучения в осях координат главных компонент 1 и 2 (рис. 4) показало, что у клена ясенелистного и рябины обыкновенной в зоне интенсивного загрязнения изменяется масса и площадь листьев, а у клена ясенелистного – кроме того, и длина годичного побега.

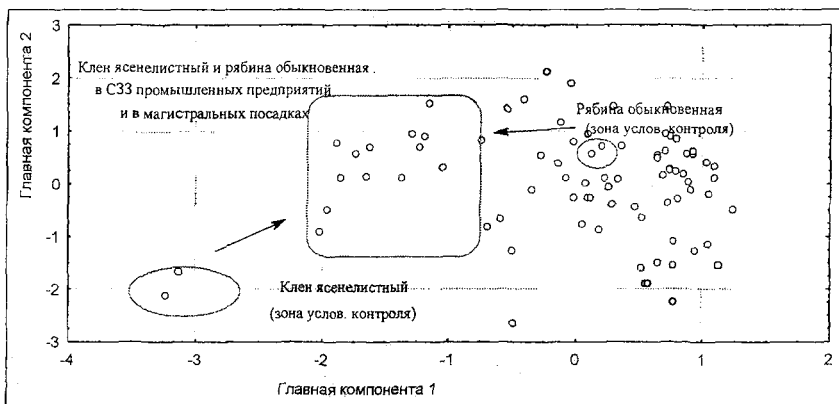


Рис. 4 – Положение объектов в осях главных компонент 1 и 2

Анализ видовых особенностей изменения морфологии годичного прироста показал, что в условиях техногенной среды наряду с укорачиванием побегов (клен ясенелистный, роза майская, карагана древовидная) наблюдается удлинение годичного прироста (ива козья, рябина обыкновенная, липа мелколистная, яблоня ягодная, тополь бальзамический и береза повислая). Увеличение длины побега, как правило, связано с существенным возрастанием числа и размеров его метамеров. Это свидетельствует о влиянии техногенной среды, как на постэмбриональную, так и на эмбриональную фазу побегообразования у древесных растений.

В условиях городской среды листья тополя бальзамического, рябины обыкновенной и розы майской отличаются склерофильностью и имеют показатель массы единицы площади листа в пределах 7,1-7,6 мг/см². В целом отмечена тенденция роста этого показателя в условиях усиления степени воздействия техногенной среды на растения. У березы повислой, рябины обыкновенной, ивы козьей и тополя бальзамического показатель массы единицы площади листа находится в сильной отрицательной корреляционной связи с ассимиляционной активностью ($r = -0,56-0,81$).

5.4 Зимостойкость почек на годичном приросте древесных растений

В условиях интенсивной техногенной нагрузки снижается зимостойкость годичных побегов у древесных растений, подтверждением тому является существенное возрастание числа почек максимально поврежденных в зимний период.

Глава 6. ОСОБЕННОСТИ МЕТАБОЛИЗМА ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ УРБАНОСРЕДЫ

Древесные растения сочетают долговечность и короткий срок жизни отдельных органов и структурных частей, их функциональное состояние формируется под влиянием повторяющихся длительное время стрессов, и в то же время отражает скорость происходящих в среде изменений.

6.1 Ассимиляционная активность и водоудерживающая способность листьев древесных растений

С применением бескамерного метода определения интенсивности фотосинтеза (Быков, 1974) установлено, что влияние взаимодействия особенностей вида, условий произрастания и периода вегетации на ассимиляционную активность у березы повислой, липы мелколистной и ивы козьей схоже: как в насаждениях зон условного контроля (ЗУК), так и санитарно-защитных зон (СЗЗ) промышленных предприятий, у всех отмечается понижение интенсивности фотосинтеза (ИФ) с июня по август. В магистральных посадках показатели фотосинтеза невысокие, но в конце активной вегетации растений наблюдается некоторый рост (рис. 5). У рябины обыкновенной и розы майской в парковых насаждениях в июле (в период достижения листьями полной функциональной активности) ИФ достоверно

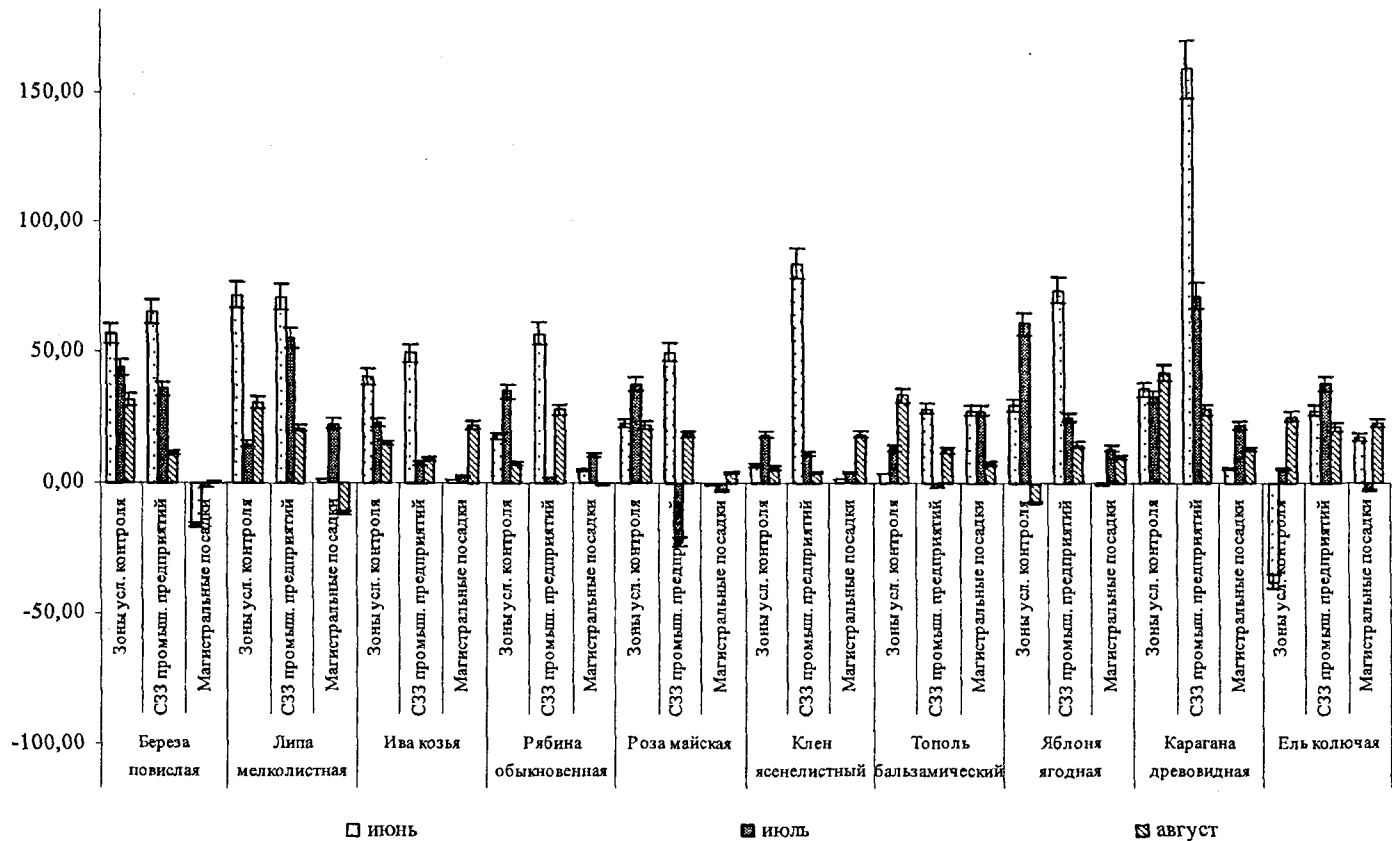


Рис. 5 – Динамика интенсивности фотосинтеза ($\text{мг}\cdot\text{г}^{-1}\cdot\text{ч}^{-1}$) у изученных видов древесных растений, произрастающих в разных типах насаждений г. Ижевска

превосходила ее значения в другие месяцы. Весьма низкими оказались значения показателя интенсивности фотосинтеза у растений местных видов, произрастающих в магистральных посадках. У интродуцированных видов не выявлено четких достоверных отличий ассимиляционной активности у особей, произрастающих в районах города с интенсивной техногенной нагрузкой. В насаждениях санитарно-защитных зон промышленных предприятий у указанных видов даже отмечено достоверное превышение показателей у растений в насаждениях зон условного контроля. Установлено, что в течение всего периода вегетации ассимиляционная активность у интродуцированных видов интенсивнее, чем у растений аборигенных видов, встречающихся в подобных же условиях. По уровню изменчивости показателя ассимиляционной активности изученные виды древесных растений можно расположить в следующий ряд: *карагана древовидная* > *ель колючая* > *липа мелколистная* > *яблоня ягодная* > *ива козья* > *клен ясенелистный* > *рябина обыкновенная* и *роза майская* > *береза повислая* > *тополь бальзамический*.

Обобщение результатов анализа ассимиляционной активности позволило установить, что в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий по сравнению с зонами условного контроля ИФ у растений существенно возрастает, а в магистральных посадках, наоборот, снижается. Выяснено, что в условиях техногенной нагрузки только в начале ассимиляционного периода (июнь) зеленые насаждения способны выполнять относительно полноценно ассимиляционные функции (средообразующую роль), затем в ходе вегетации фотосинтез растений подвергается сильнейшей депрессии.

Параллельно с изучением интенсивности фотосинтетической деятельности древесных растений нами проанализировано состояние водообмена листа по показателю его водоудерживающей способности (ВС). Установлено, что как в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий, так и в магистральных посадках на протяжении всего периода активной вегетации растений наиболее высокими показателями ВС отличаются береза повислая и липа мелколистная, а наименьшими – представители кустарникового яруса – роза майская и карагана древовидная (табл. 1). Виды, имеющие довольно высокую ассимиляционную активность, такие как тополь бальзамический и яблоня ягодная, имеют средние показатели потерь воды листьями с тенденцией падения показателя водоудерживающей способности в условиях интенсивной техногенной нагрузки.

6.2 Антиоксидантная система адаптации древесных растений в условиях городской среды

При окислительном стрессе повышается значение низкомолекулярных неферментативных антиоксидантов (аскорбиновой кислоты, фенольных соединений, каротиноидов и др.) (Кения, 1993).

Таблица 1 – Динамика потерь воды листьями у древесных растений в насаждениях г. Ижевска

| Период вегетации | Виды древесных растений | | | | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------|---------------------|----------------|--------------|----------------------|
| | Береза повислая | Клен ясенелистный | Тополь бальзамический | Липа мелколистная | Ива козья | Рябина обыкновенная | Яблоня ягодная | Роза майская | Карагана древовидная |
| Потери воды листьями (показатель обратен водоудерживающей способности), % (НСР ₀₅ = 1,0) | | | | | | | | | |
| Зоны условного контроля | | | | | | | | | |
| июнь | 7,37 | 22,65 | 5,54 | 8,12 | 9,08 | 8,12 | 4,97 | 7,30 | 8,06 |
| июль | 14,73 | 6,68 | 11,77 | 15,44 | 13,68 | 7,78 | 21,32 | 11,98 | 22,01 |
| август | 21,19 | 8,40 | 14,58 | 14,29 | 16,47 | 15,01 | 19,55 | 17,78 | 29,13 |
| Санитарно-защитные зоны промышленных предприятий | | | | | | | | | |
| июнь | 5,14 | 7,02 | 8,64 | 9,05 | 9,20 | 8,99 | 11,64 | 8,15 | 11,71 |
| июль | 6,60 | 18,17 | 9,52 | 6,75 | 13,82 | 15,32 | 15,60 | 17,87 | 13,33 |
| август | 6,60 | 3,72 | 12,15 | 9,84 | 14,76 | 8,40 | 15,62 | 23,84 | 15,67 |
| Магистральные посадки | | | | | | | | | |
| июнь | 5,77 | 7,11 | 10,77 | 8,33 | 11,60 | 6,02 | 8,70 | 9,16 | 10,54 |
| июль | 6,63 | 5,38 | 11,02 | 7,06 | 12,06 | 9,82 | 14,53 | 13,53 | 15,65 |
| август | 6,89 | 12,72 | 17,33 | 7,88 | 9,99 | 13,24 | 15,25 | 14,34 | 24,96 |

6.2.1 Содержание аскорбиновой кислоты в листьях древесных растений

Для видов, отличающихся ассимиляционной активностью в условиях интенсивной техногенной нагрузки (тополь бальзамический, яблоня ягодная) характерно относительно высокое содержание аскорбиновой кислоты (АК) в листьях (рис. 6). Высокие значения указанного показателя характерны также для листьев других интродуцированных видов древесных растений в магистральных посадках. Это имеет место в июне, когда завершается формирование листового аппарата у растений. Хвоя ели колючей у особей в магистральных посадках и насаждениях санитарно-защитных зон предприятий в это же время отличается максимальным количеством данного метаболита (152,0 - 1279,7 мг%), но в последующие месяцы его содержание резко снижается.

У аборигенных видов – березы повислой, липы мелколистной, ивы козьей и розы майской – в насаждениях промышленных зон в июне и июле, а в магистральных посадках в июне, синтезируются значительно больше аскорбиновой кислоты, чем у особей, произрастающих в зонах условного контроля. Лишь в конце ассимиляционного периода концентрация АК в листьях данных видов, произрастающих в насаждениях с интенсивной техногенной нагрузкой, оказалась ниже (реже не имеет различий), чем у растений в зонах условного контроля. У липы мелколистной различий по содержанию АК в разных типах насаждений не выявлено. У розы майской содержание аскорбиновой кислоты в листьях в течение вегетации во всех типах насаждений ниже, чем в ЗУК.

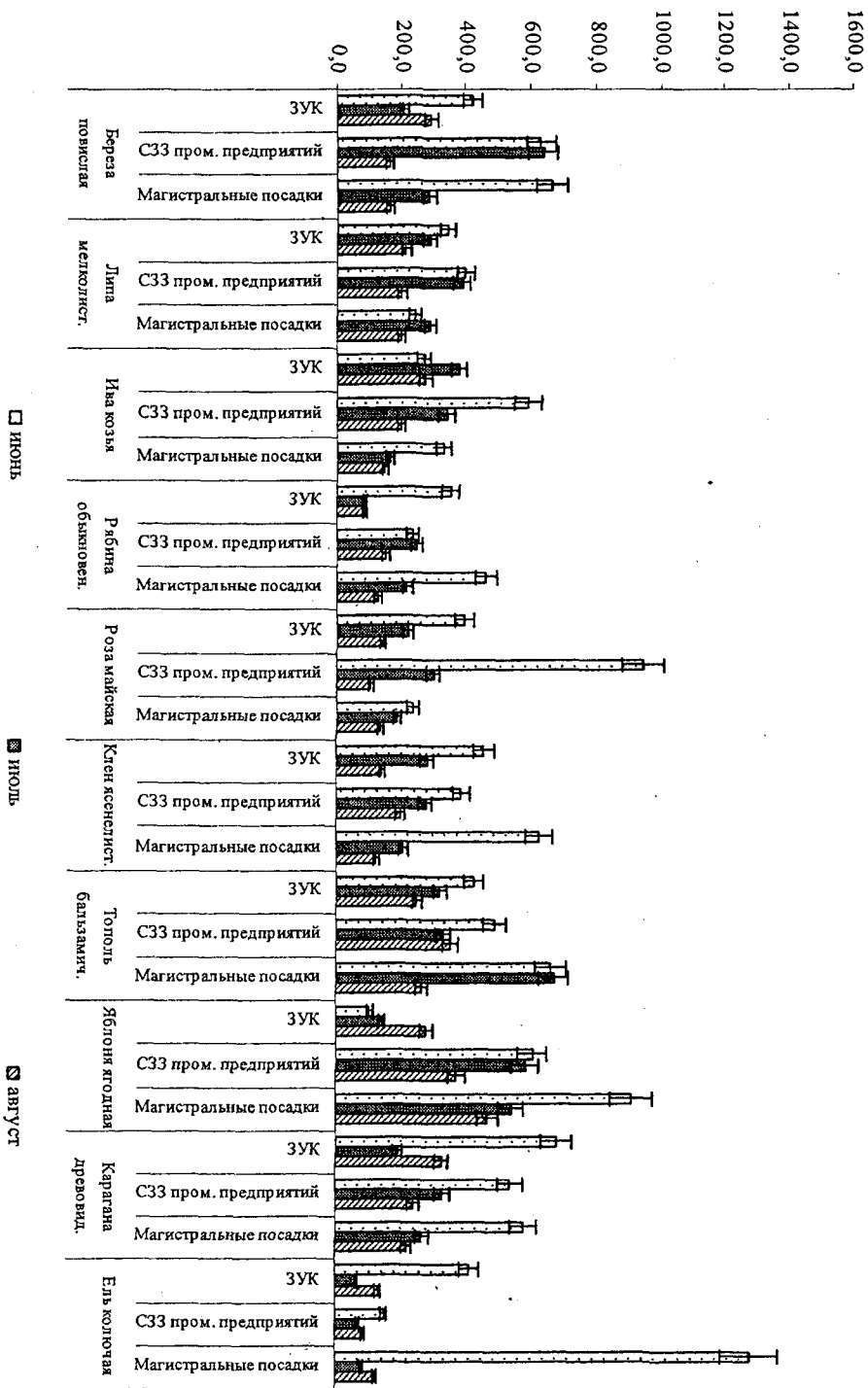


Рис. 6 — Содержание аскорбиновой кислоты в листьях древесных растений, произрастающих в разных типах насаждений г. Ижевска, мг%

По обобщенным данным для всех изученных видов растений в течение вегетации (июнь-август) содержание аскорбиновой кислоты в листьях постепенно уменьшается, что свидетельствует о снижении активности окислительно-восстановительных процессов и согласуется с данными по интенсивности фотосинтеза растений. Возрастание степени техногенной нагрузки приводит к достоверному росту содержания аскорбиновой кислоты. Это, безусловно, свидетельствует об участии данного метаболита в механизмах адаптации растений к условиям урбаносреды.

6.2.2 Содержание фенольных соединений (таннинов) в побегах древесных растений

У большинства изученных видов (за исключением тополя бальзамического и липы мелколистной) в насаждениях санитарно-защитных зон промышленных предприятий и магистральных посадках конец периода зимнего покоя (март) характеризуется снижением концентрации таннинов в побеговой системе (табл. 2), что косвенно свидетельствует о нарушении покоя побегов и почек. К концу вегетации (сентябрь) в насаждениях промышленных зон побеги древесных растений по данному показателю также уступают особям зон условного контроля, либо не имеют с ними различий. В тоже время в магистральных посадках, наоборот, побеги отличаются повышенными концентрациями таннинов (исключая иву козью и рябину обыкновенную).

Таблица 2 – Содержание таннинов в побегах древесных растений, произрастающих в разных типах насаждений г. Ижевска

| Период вегетации | Виды древесных растений | | | | | | | |
|---|-------------------------|-------------------|-----------------------|-------------------|-----------|---------------------|----------------|----------------------|
| | Береза повислая | Клен ясенелистный | Тополь бальзамический | Липа мелколистная | Ива козья | Рябина обыкновенная | Яблоня ягодная | Карагана древовидная |
| Содержание таннинов, % (НСП ₀₅ = 0,07) | | | | | | | | |
| Зоны условного контроля | | | | | | | | |
| март | 0,65 | 0,26 | 0,29 | 0,17 | 1,31 | 0,90 | 0,33 | 0,38 |
| сентябрь | 1,60 | 0,95 | 1,35 | 1,09 | 2,67 | 2,99 | 1,47 | 1,38 |
| Санитарно-защитные зоны промышленных предприятий | | | | | | | | |
| март | 0,14 | 0,25 | 0,48 | 0,46 | 0,63 | 0,34 | 0,10 | 0,26 |
| сентябрь | 0,48 | 0,80 | 1,63 | 1,45 | 1,60 | 1,01 | 1,46 | 0,65 |
| Магистральные посадки | | | | | | | | |
| март | 0,06 | 0,90 | 0,32 | 0,14 | 0,35 | 0,92 | 0,15 | 0,26 |
| сентябрь | 2,75 | 1,40 | 1,52 | 1,46 | 2,19 | 1,91 | 2,92 | 2,36 |

К концу вегетации концентрация данного метаболита в побегах клена ясенелистного возрастает в 2-3 раза, березы повислой, тополя бальзамического, липы мелколистной и караганы древовидной – в 4-6 раз, а в побегах яблони ягодной отмечен максимальный рост данного метаболита, примерно в 10 раз (рис. 7).

Биологической особенностью ивы козьей и рябины обыкновенной является высокое содержание таннинов в побегах. Именно для этих видов установлена отличная от других изученных видов реакция снижения концентрации таннинов в побегах в ряду ЗУК – магистральные посадки – СЗЗ промышленных предприятий, причем у рябины обыкновенной показатель высоко значимо коррелирует с ИЗА и его составляющими ($r = 0,61-0,68$). Это свидетельствует о возможности использования данных видов в индикации состояния атмосферного воздуха.

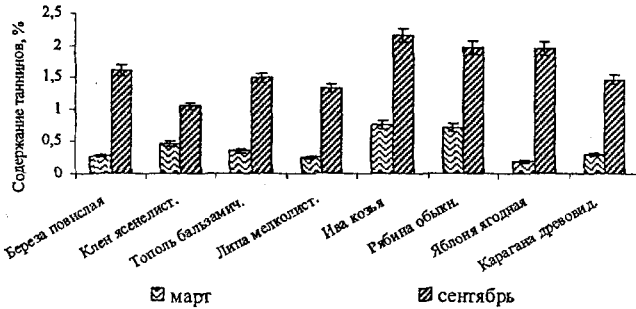


Рис. 7 – Содержание таннинов в побегах древесных растений в разные периоды вегетации

6.3 Взаимосвязь физиологических и биохимических показателей древесных растений и возможность их использования в мониторинге состояния городской среды

Для оценки взаимосвязи изученных физиолого-биохимических показателей проведен корреляционный анализ (коэффициент ранговой корреляции Спирмена). Характер этих связей имеет видовые особенности. Также нами установлены значимые корреляционные связи содержания отдельных загрязняющих веществ в атмосферном воздухе и изучаемых нами физиолого-биохимических показателей растений. Это позволяет заключить, что последние вполне могут быть использованы в системе мониторинга состояния урбаноэкосистем.

Глава 7. ОСОБЕННОСТИ ДИНАМИКИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ПОБЕГАХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В УСЛОВИЯХ ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ

7.1 Содержание и динамика основных элементов минерального питания в побегах древесных растений

Важное значение для роста и развития древесных растений имеет содержание и динамика основных элементов минерального питания в побегах, а экологическая

роль деревьев и кустарников определяется способностью к аккумуляции загрязняющих веществ, в том числе тяжелых металлов. Установлено, что побеги большинства изученных видов, как в СЗЗ промышленных предприятий, так и в магистральных посадках имеют достоверно большее содержание общего азота по сравнению с зоной условного контроля (рис. 8-9).

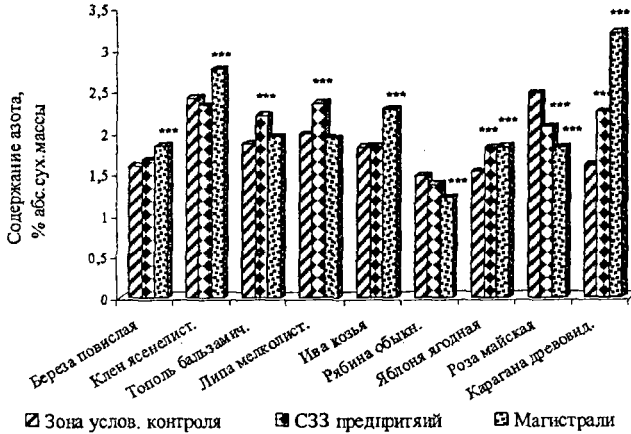


Рис. 8 – Содержание азота в листьях древесных растений, произрастающих в насаждениях различных функциональных зон г. Ижевска
Примечание: достоверные отличия от зоны условного контроля при *** – $P < 0,001$.

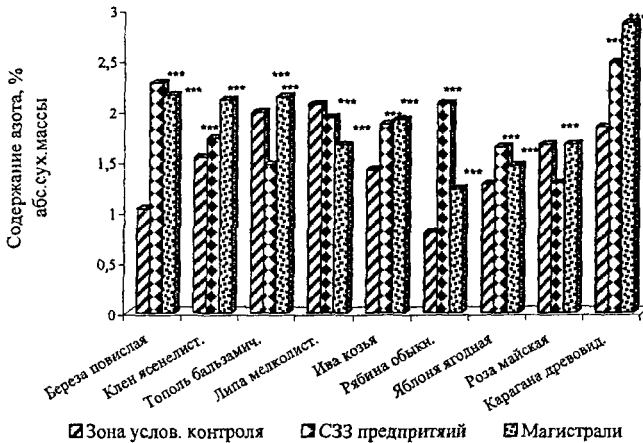


Рис. 9 – Содержание азота в стеблевой части побега древесных растений, произрастающих в насаждениях различных функциональных зон г. Ижевска
Примечание: достоверные отличия от зоны условного контроля при *** – $P < 0,001$.

Одной из причин повышенного содержания азота, на наш взгляд, может быть поглощение азотсодержащих загрязнителей листьями из воздуха. Анализ атмосферного воздуха на содержание окислов азота показал их максимальные концентрации (4,7 ПДК), наибольшую повторяемость превышения ПДК (10%) и самые высокие значения среднегодовой концентрации в районах исследования, особенно вдоль магистралей (ул. Удмуртская и К. Либкнехта) и в СЗЗ предприятий «Нефтемаш», «Буммаш». Установлена корреляционная связь содержания общего азота в листьях с концентрацией оксида азота в атмосферном воздухе ($r = 0,15$, $P = 0,049$, $n = 168$). Особо следует отметить, что для караганы древовидной характерна высоко значимая корреляционная зависимость этих показателей ($r = 0,98$, $P = 3,5 \cdot 10^{-8}$). Для этого же вида установлен наибольший коэффициент корреляции между данным показателем и содержанием нитратов в почве ($r = -0,72$, $P < 0,05$).

С увеличением степени техногенной нагрузки содержание калия в листьях большинства изученных видов также существенно возрастает, что может быть связано с изменением водообмена растений; снижение установлено лишь у клена ясенелистного и розы майской, которые не отличаются высокой водоудерживающей способностью листьев. В условиях городской среды в побегах снижается концентрация фосфора.

В конце вегетации происходит отток основных элементов минерального питания из листьев. Считается, что для нормального весеннего роста побегов необходимо, чтобы не менее двух третей содержания элемента было транспортировано из листьев в стеблевую часть побега (Крамер, Козловский, 1983). Как установлено в наших исследованиях, в условиях городских насаждений этот процесс нарушается. Значительное нарушение физиологического оттока характерно для видов, у которых наблюдается задержка ранневесеннего роста вегетативных побегов.

Таким образом, можно заключить, что в условиях городской среды отмечается нарушение баланса основных элементов минерального питания и изменение осеннего физиологического оттока основных элементов минерального питания из листьев в побеги.

7.2 Содержание зольных элементов в побегах древесных растений в условиях городской среды

Динамика содержания зольных элементов в стеблевой части годичного прироста древесных растений в условиях техногенной нагрузки в литературе освещена слабо, несмотря на важность данного фактора, поскольку как упоминалось ранее, запас питательных веществ в покоящемся побеге обеспечивает их ранневесенний рост и развитие. Нами выявлено, что в насаждениях промышленных зон и магистралей у подавляющего большинства изученных видов древесных растений зольность листьев и стеблевой части побегов превышает таковую у особей, произра-

стающих в зонах условного контроля. Наиболее значимое превышение характерно для растений, являющихся концентраторами микроэлементов и тяжелых металлов. Листья у всех изученных видов растений отличались большей зольностью (5,4-16%) по сравнению со стеблевой частью побега (1,7-9,8%).

7.3 Динамика содержания тяжелых металлов в листьях древесных растений

Для оценки интенсивности поглощения микроэлементов, нами использован коэффициент биологического поглощения (КБП), представляющий собой частное от деления содержания микроэлемента в золе листьев на его содержание в корнеобитаемом слое почвы (Винокурова, 2003). В начале активной вегетации у березы повислой и липы мелколистной установлено высокое значение КБП марганца в насаждениях парковой зоны. Для клена ясенелистного, яблони ягодной и липы мелколистной в насаждениях города элементами сильного накопления являются цинк и молибден (КБП = 1-10). В период листопада высокие значения КБП Zn и Cd зафиксированы у березы повислой, Zn, Cu и Mo – у клена ясенелистного. У ели колючей элементами сильного накопления в фоновых условиях являются цинк и молибден. Таким образом, высокие значения КБП характерны лишь для биогенных металлов (Zn, Cu, Mn и Mo). У таких видов, как клен ясенелистный и яблоня ягодная, наблюдается тенденция накопления тяжелых металлов к концу вегетационного периода и их удаление вместе с опавшими листьями, что можно рассматривать как адаптивную реакцию в условиях техногенного загрязнения.

ГЛАВА 8. ХАРАКТЕРИСТИКА АДАПТИВНЫХ РЕАКЦИЙ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ И РЕАЛИЗУЕМОЙ СРЕДООБРАЗУЮЩЕЙ РОЛИ ГОРОДСКИХ И ПРИГОРОДНЫХ НАСАЖДЕНИЙ

8.1 Эколого-биологические особенности адаптации древесных растений в условиях урбаноэкологии

В результате исследований выделены общие черты адаптивных реакций, а также их видоспецифические особенности у древесных растений в урбаноэкологических системах лесной зоны Предуралья (табл. 3).

С целью сопоставления устойчивости и ассимиляционной активности изученных видов растений мы использовали экспертную балльную рейтинговую оценку (рис. 10). Максимальным количеством баллов ни один из изученных видов ни в одном из типов насаждений не был оценен. Наивысшей рейтинговой оценкой отмечены яблоня ягодная, тополь бальзамический и клен ясенелистный за счет высокой ассимиляционной активности, а также береза повислая, обладающая высоким уровнем водоудерживающей способности листьев и содержанием аскорбиновой кислоты.

Таблица 3 – Видовые особенности адаптивных реакций древесных растений в урбанозкосистеме г. Ижевска

| Вид растения | Особенности ритмов сезонного развития | Морфологические особенности (на примере годичного побега) | Особенности метаболизма | Изменение биохимического состава |
|---|---|--|---|--|
| 1 | 2* | 3 | 4 | 5 |
| Общие черты | Изменение отдельных периодов сезонного развития, сокращение критических периодов. | Перераспределение процессов роста и формирования структурных частей годичного прироста. Наибольшей изменчивости подвержен листовый аппарат, длина и метамерность вегетативных побегов. | Более высокая ИФ ¹ у интродуцированных видов, по сравнению с аборигенными, которая коррелирует с содержанием АК ² в листьях. Для низкорослых деревьев и кустарников характерны высокие показатели ВС ³ листьев, положительно коррелирующие с содержанием АК. | Повышенные концентрации таннинов в побегах, особенно в конце вегетации. Изменение баланса основных элементов минерального питания в побеговой системе. |
| Видовые особенности | | | | |
| Береза повислая <i>Betula pendula</i> Roth. | Более позднее распускание почек, сокращение сроков цветения, увеличение периода вегетации. | Возрастание длины годичного прироста за счет увеличения числа узлов, при этом площадь и масса ассимиляционного листьев существенно не меняются. | Фотосинтез значительно снижается лишь в условиях магистральных посадок. В городских насаждениях возрастает ВС листьев и содержание АК. | Рост концентрации таннинов в побегах. Повышается содержание азота в стеблях, а калия и фосфора в листовом аппарате (хотя в листьях содержание азота весьма высокое). |
| Рябина обыкновенная <i>Sorbus aucuparia</i> L. | Наиболее существенное увеличение сроков вегетации, хотя этот вид отличается наиболее коротким вегетационным периодом по сравнению с другими изученными. | Возрастание длины годичного прироста за счет увеличения числа узлов. При этом площадь и масса листьев, а также показатель склерофильности также возрастают. | Снижение ИФ в условиях интенсивной техногенной нагрузки, при этом также снижается ВС листьев и возрастает содержание АК. | Снижение содержания таннинов в побегах. В условиях интенсивной техногенной нагрузки в стеблях возрастает содержание азота и калия, а в листьях – калия и фосфора. |

Продолжение таблицы 3

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|---|--|---|---|
| Роза майская <i>Rosa majalis</i> Herzm. | Вегетационный период сокращается. | Годичный побег укорачивается, на нем возрастает число узлов, сокращаются площадь и масса листьев. Листья имеют высокий показатель склерофильности. | Снижение ИФ, при этом снижается ВС листьев и содержание АК. | Нет данных |
| Липа мелколистная <i>Tilia cordata</i> Mill. | Период цветения растянут. Наиболее существенное, по сравнению с другими изученными видами, увеличение сроков вегетации. | Возрастание длины годичного прироста за счет увеличения числа узлов. При этом площадь и масса ассимиляционного аппарата существенно не меняются. | В насаждениях СЗЗ промышленных предприятий возрастают значения ИФ и содержания АК в листьях. В городских условиях возрастает ВС листьев. | Увеличение концентрации танинов в побегах. В условиях наиболее интенсивной техногенной нагрузки в листьях снижается содержание азота на фоне роста концентрации калия и фосфора. В стеблях наблюдается снижение содержания азота. |
| Ива козья <i>Salix caprea</i> L. | Ускоряется период распускания почек, сокращаются сроки цветения и вегетационный период в целом. | Возрастание длины годичного прироста за счет увеличения числа узлов. Площадь и масса листьев также возрастают. | Снижение ИФ в условиях интенсивной техногенной нагрузки, при этом ВС и содержание АК в листьях остается на одном уровне с контрольными растениями. | Снижение содержания танинов в побегах. Возрастание концентраций азота и калия в листьях, на фоне снижения содержания фосфора. В стеблях наблюдается рост концентрации азота. |
| Тополь бальзамический <i>Populus balsamifera</i> L. | Сокращение сроков цветения. Увеличение периода вегетации. | Увеличение длины годичного прироста, площади и массы листьев на нем. Листья имеют высокий показатель склерофильности. | В насаждениях СЗЗ промышленных предприятий снижается ИФ, что сопровождается ростом ВС листьев. В магистральных посадках ИФ возрастает при значительном росте содержания АК в листьях. | Рост содержания танинов в побегах. Снижается концентрация азота в побегах. В условиях насаждений СЗЗ промышленных предприятий в листьях повышается содержание калия и фосфора. |

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
|--|--|--|--|--|
| Карагана древовидная <i>Caragana ar- borescens</i> Lam. | Увеличение периода ве- гетации. | Побег укорачива- ется, на нем воз- растает число уз- лов, сокращаются площадь и масса листьев. | Возрастание содер- жания АК, благодаря чему ИФ не снижает- ся и даже несколько возрастет в насажде- ниях СЗЗ промыш- ленных предприятий. Листья отличаются невысокой ВС. | Рост концентрации танининов в побе- гах. В последних возрастает содер- жание азота и ка- лия, а concentra- ция фосфора, на- оборот, снижается. Листья отличаются весьма высоким содержанием об- щего азота. |
| Клен яснелистный <i>Acer negundo</i> L. | Сокращение сроков цве- тения. Уве- личение пе- риода веге- тации. | Годичный прирост укорачивается, а в условиях интен- сивной техноген- ной нагрузки, мас- са и площадь лис- тового аппарата также уменьша- ются. | Снижение ИФ в ус- ловиях интенсивной техногенной на- грузки, которое со- провождается рос- том ВС листьев и снижением содер- жания АК. | Рост содержания танининов в побегах в условиях интен- сивной техноген- ной нагрузки. В ли- стьях происходит снижение концен- трации азота и ка- лия, а в побегах – фосфора. |
| Яблоня ягодная <i>Malus baccata</i> (L.) Borkh | Увеличение периода ве- гетации. | Возрастание дли- ны годичного прироста за счет увеличения числа узлов. При этом площадь и масса ассимиляционного аппарата не меня- ются. | В насаждениях СЗЗ промышленных предприятий ИФ возрастает, а в маги- стральных посадках несколько снижается, несмотря на рост ВС и содержания АК в листьях, характер- ный для особей этих типов насаждений. | Рост concentra- ции танининов в побегах в услови- ях интенсивной техногенной на- грузки. Возраста- ние концентрации калия и фосфора в листьях, а в стеб- лях – калия и азо- та. |
| Ель колочая <i>Picea pungens</i> Engelm. f. <i>glau- ca</i> Regel. | Нет данных | Удлинение годич- ного прироста. | Наблюдается неко- торое усиление ИФ в насаждениях, имеющих невысо- кий уровень техно- генной нагрузки, при этом значимо снижается концен- трация АК в хвое. | Содержание тан- нинов возрастает в хвое прошлых лет и стеблевой части побега текущего года. |

Примечания. * – особенности адаптивных реакций, отмеченные в столбцах 2-5 таблицы соответствуют феноритмической, габитуальной, физиологической и биохимической формам устойчивости растений (по Ю.З. Кулагину (1974,1985)); ИФ¹ – интенсивность фотосинтеза; АК² – аскорбиновая кислота; ВС³ – водоудерживающая способность листьев.

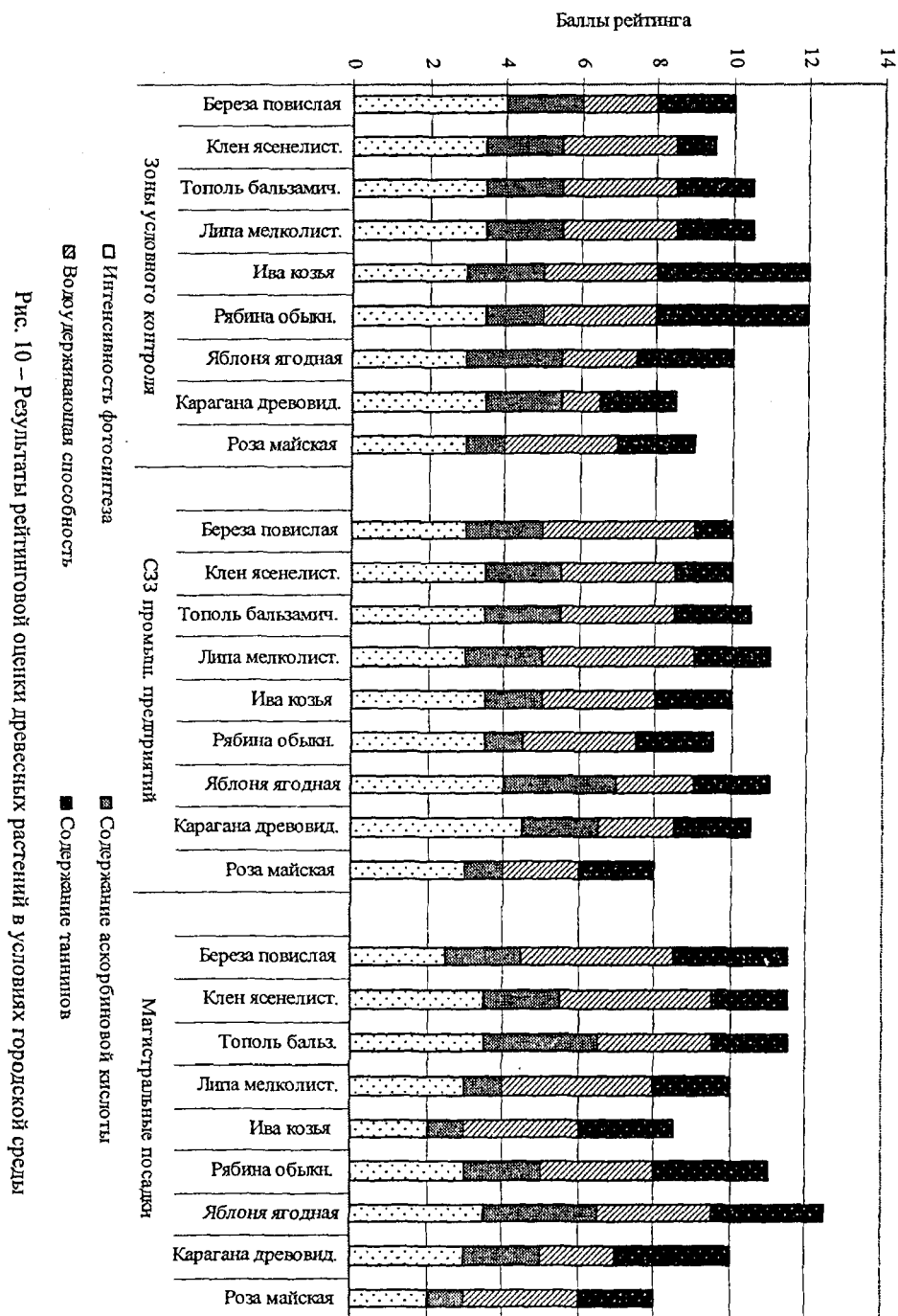


Рис. 10 – Результаты рейтинговой оценки древесных растений в условиях городской среды

8.2 Оценка средообразующей роли древесных насаждений в урбаносреде

С учетом климатических условий региона и результатов изучения интенсивности фотосинтеза растений проведена оценка средообразующей роли древесных насаждений города на основе примерного расчета поглощаемого ими объема оксида углерода (методика О.Д. Быкова (1974) позволяет производить пересчет показателя ассимиляционной способности на поглощение CO_2). Он составил 3,84 т/га CO_2 , что значительно уступает высокопроизводительным древостоям умеренного климата (20-25 т/га углекислоты).

При разработке подходов к решению экологических проблем города мы считаем целесообразным опираться на концепцию Геи (Lovelock, 1979, 1999), в рамках которой города следует рассматривать как явление биосферы, в котором важнейшие компоненты – древесные растительные организмы из-за ограниченности площадей для произрастания и влияния техногенной нагрузки ослабляют свои средообразующие функции и снижают способность к поддержанию равновесного состояния среды. Исходя из этой позиции, при формировании зеленого фонда города и пригородной территории необходимо максимально использовать виды растений, обладающие высокими средообразующими возможностями, функциональной и ассимиляционной активностью. Именно такие виды (аборигенные, либо интродуцированные, а также селекционированные гибриды, формы и культивары), должны стать ведущим ассортиментом в озеленении промышленных центров.

В главе приведен анализ изменений, происходящих в урбаноэкосистеме г. Ижевска в связи с процессами потепления климата. Они касаются изменения флористического состава, продолжительности вегетации и ростовых процессов у древесных растений, биоритмов насекомых филофагов.

8.3 Экологическая оценка состояния насаждений зеленой зоны Ижевска

Возможности городских насаждений в экологическом благопристворении городской среды ограничены, следовательно, значимая роль в решении данной проблемы должна быть отведена прилегающим к городу территориям с природными и антропогенными системами. В настоящее время проблема «город-пригород» реализуется через создание зеленых зон (Белов, 1964), в основу расчетов размеров которых положены принципы, не вполне соответствующие современной экологической обстановке.

Экологическая оценка насаждений зеленой зоны дана на основе расчетов депонирования углерода и кислородопродуктивности. Количественная оценка структуры запасов органического углерода в биомассе насаждений зеленой зоны Ижевска показала, что его основная доля сосредоточена в биомассе лиственных пород – 62,8 т/га, в хвойных лесах – 44,2 т/га.

При анализе продукции кислорода зеленой зоной города мы учли долю лесных площадей, способных участвовать в снабжении города данным экологическим ресурсом в силу особенностей ветрового режима территории, а также размеры площадей, занятых средневозрастными и приспевающими лесами, имеющими наиболее важное экологическое значение. Кислородопродуктивность всей территории зеленой зоны занятой лесами составила 12,3 т/га (для сравнения высокопродуктивные леса умеренной зоны производят 15-18 т O₂/га (Карасев, 2001)). При этом насаждения южного и юго-западного направлений (по среднесезонным данным в городе преобладают юго-западные ветры) производят 58,4 тыс. т (24%), а северного (в период вегетации растений господствуют ветры северного и северо-восточного направлений) – 66,7 тыс. т (27%) кислорода.

В диссертации приведена характеристика насаждений, расположенных в данных направлениях на разной удаленности от черты города, а также анализ физиолого-биохимических показателей лесообразующих пород. Установлено, что на расстоянии 20-22 км от черты города древесные насаждения удерживают максимальное количество пыли.

8.4 Пути оптимизации городской среды

Характеристика жизненного состояния, показателей роста и развития, результаты рейтинговой оценки устойчивости и уровня обменных процессов у изученных видов древесных позволили дать рекомендации по применению изученных видов в разных структурно-функциональных типах насаждений города.

В пригородной зоне на месте нарушенных земель необходимо организовать плантационную форму лесного хозяйствования из высокопродуктивных и технически ценных древесных пород, для рекреационных целей следует создать лесопарковые культуры и провести ландшафтную реконструкцию имеющихся низкокачественных насаждений. Вокруг города (на расстоянии, установленном с учетом климатических условий региона и планировки города, для Ижевска – это 20-22 км) необходимо создание лесных массивов, обладающих высокой пылеосаждающей способностью (как правило, с преобладанием хвойных пород).

На основе изучения состояния насаждений и полученного аналитического материала сформулированы основные направления программы экологической оптимизации городской среды, основанные на определенной организационной структуре и концептуальных подходах к формированию древесных насаждений города (рис. 11).



Рис. 11 – Основные направления программы экологической оптимизации городской среды, касающиеся организации древесных насаждений

ВЫВОДЫ

1. Анализ состояния насаждений г. Ижевска выявил острую необходимость их существенной реконструкции и проведения компенсационного озеленения. Видовой состав деревьев и кустарников города включает 143 вида, имеющих преимущественно североамериканское и дальневосточное происхождение. Основу существующих насаждений составляют береза повислая (*Betula pendula* Roth.), тополь бальзамический (*Populus balsamifera* L.), клен ясенелистный (*Acer negundo* L.), липа мелколистная (*Tilia cordata* Mill.), ива козья (*Salix caprea* L.), рябина обыкновенная (*Sorbus aucuparia* L.), яблоня ягодная (*Malus baccata* L.), роза майская (*Rosa majalis* Herzm.) и карагана древовидная (*Caragana arborescens* Lam.), удельный вес которых в общей площади насаждений города составляет около 70%. Для растений магистральных посадок характерны низкие баллы жизненно-

сти, что связано с отрицательным воздействием экологических факторов и несоблюдением агротехнических требований при уходе за ними. В целом по городу низкие баллы жизненного состояния имеют липа мелколистная, роза майская и карагана древовидная, высокие – береза повислая, клен ясенелистный и яблоня ягодная. При возрастании содержания окислов азота и углерода в атмосферном воздухе, у всех видов, за исключением яблони ягодной, снижается жизненное состояние. У тополя бальзамического и караганы древовидной выявлена высоко значимая корреляционная связь жизненного состояния и содержания окислов азота в атмосферном воздухе.

2. У древесных растений в урбаносреде возрастает продолжительность активной вегетации, но при этом значительно сокращаются критические периоды развития, связанные с распусканьем почек, формированием генеративных структур, опылением и оплодотворением. Указанная реакция особенно четко проявляется в неблагоприятные по метеорологическим условиям годы, и она наиболее выражена у деревьев первой величины (верхнего яруса).

Продолжительность периода распускания почек у местных видов относительно стабильна в разные по метеорологическим условиям годы, лишь у растений, произрастающих в условиях интенсивной техногенной нагрузки, этот период сокращается. У интродуцированных видов в менее благоприятные по погодным условиям годы в насаждениях с интенсивной техногенной нагрузкой период распускания почек более растянут, а продолжительность листопада, наоборот, сокращается в два раза. В годы с температурами и осадками в пределах нормы эти периоды в разных типах насаждений существенных различий не имеют.

3. У клена ясенелистного, розы майской, караганы древовидной наблюдается уменьшение длины годичного побега и размеров его структурных элементов. У остальных изученных видов, наоборот, происходит удлинение годичного прироста, а также числа и размеров структурных элементов. Листья тополя бальзамического, рябины обыкновенной и розы майской в условиях городской среды отличаются склерофильностью, имеют показатель массы единицы площади листа $7,1-7,6 \text{ мг/см}^2$. В целом отмечена тенденция роста этого показателя в условиях усиления воздействия техногенной среды, а у березы повислой, рябины обыкновенной, ивы козьей и тополя бальзамического установлена его отрицательная корреляционная связь с ассимиляционной активностью ($r = -0,56-0,81$). В магистральных посадках снижается зимостойкость годичных побегов, проявляющаяся в возрастании числа почек, имеющих признаки максимального повреждения в зимний период.

4. Техногенная нагрузка приводит к депрессии фотосинтеза в июле, а в условиях наиболее интенсивной техногенной нагрузки – в июне. Наибольшей депрессии под-

вержена ассимиляционная способность растений кустарникового яруса. В разных типах насаждений виды одного жизненного состояния существенно отличаются по показателям интенсивности фотосинтеза.

Интродуцированные виды отличаются более высокой ассимиляционной активностью. У них отмечен некоторый рост показателя при невысоком уровне загрязнения среды. Наиболее высокие показатели интенсивности фотосинтеза характерны для яблони ягодной и тополя бальзамического.

У большинства изученных видов растений в условиях интенсивной техногенной нагрузки продуктивность фотосинтеза существенно ограничена, что, прежде всего, связано со снижением уровня активности листового аппарата. В данных условиях, как правило, повышается водоудерживающая способность листьев. Нами установлено, что виды, обладающие значительной водоудерживающей способностью, не отличаются высокой интенсивностью фотосинтеза.

Высокие показатели ВС характерны для видов местной флоры. Кустарники – роза майская и карагана древовидная – отличаются более низкой ВС. В течение вегетации у большинства видов древесных растений способность листьев удерживать влагу снижается.

При нарастании антропогенного пресса у тополя бальзамического, яблони ягодной и березы повислой наблюдается увеличение содержания аскорбиновой кислоты (АК) в листьях. В листьях тополя бальзамического и яблони ягодной, обладающих высокой ассимиляционной активностью, отмечены максимальные концентрации данного метаболита. Независимо от условий произрастания в течение вегетации содержание АК в листьях древесных растений снижается.

Концентрация танинов в побегах древесных растений в условиях интенсивной техногенной нагрузки в конце вегетации существенно увеличивается, причем у видов, имеющих высокую ассимиляционную активность, содержание данного метаболита возрастает в 4-10 раз.

5. Побеги древесных растений в насаждениях СЗЗ промышленных предприятий и магистральных посадках характеризуются повышенным содержанием общего азота, которое достоверно коррелирует с концентрацией окислов азота в атмосферном воздухе. В указанных условиях в побегах растений возрастает содержание калия, снижается концентрация фосфора, нарушается осенний физиологический отток элементов из листьев в покоящиеся побеги. Нарушение физиологического оттока элементов характерно для видов, у которых наблюдается задержка ранневесеннего роста и развития вегетативных побегов. К концу вегетации в магистральных посадках наблюдается накопление зольных элементов в побегах растений.

В зоне влияния промышленных предприятий в ассимилирующих органах ели колючей, караганы древовидной, клена ясенелистного, яблони ягодной и липы мелколистной выявлены избыточные концентрации Zn, Cu, Pb, Mo, Cd и Cr, а в магистральных насаждениях – Ni, Cd, Cr. У клена ясенелистного и яблони ягодной наблюдается накопления тяжелых металлов в листьях к концу вегетационного периода и их удаление вместе с опавшими листьями, что можно рассматривать как адаптивную реакцию. Высокие значения коэффициента биологического поглощения характерны лишь для биогенных металлов (Zn, Cu, Mn и Mo).

6. Общими чертами адаптивных реакций древесных растений в урбаносреде лесной зоны Предуралья являются: сокращение критических периодов развития; перераспределение роста и формирования морфологических структур годичного вегетативного побега; повышение содержания аскорбиновой кислоты в листьях и ее прямая корреляционная связь с ассимиляционной активностью; возрастание вододерживающей способности листьев у низкорослых деревьев и кустарников; повышение концентрации танинов в побегах; изменение баланса основных элементов минерального питания. В то же время для каждого из изученных видов установлена специфичность реализации адаптивных реакций. Ряд видов имеет уникальные черты адаптивных реакций – снижение уровня танинов (побеги ивы козьей и рябины обыкновенной при усилении техногенной нагрузки), десятикратное повышение концентрации данного метаболита (побеги яблони ягодной), перестройка структуры годичного прироста (клен ясенелистный и рябина обыкновенная), повышенные концентрации общего азота (побеги караганы древовидной) – которые могут быть применены в оперативном мониторинге.

7. Насаждения города отличаются низкими средообразующими возможностями и неспособностью обеспечить экологически благоприятное качество жизни. При экологической оптимизации городской среды следует обратить внимание на пригородные территории, являющиеся поставщиками основных экологических ресурсов. В связи с указанным, требуется пересмотр подходов к организации структуры и состава насаждений зеленых зон городов, касающийся размеров, характера размещения лесных массивов, плантаций и лесопарковых насаждений.

СПИСОК ОСНОВНЫХ РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Монографии:

1. Бухарина И.Л., Поварничина Т.М., Ведерников К.Е. Эколого-биологические особенности древесных растений в урбанизированной среде: монография. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2007. – 216 с.

Статьи в научных журналах, рекомендованных ВАК

1. Бухарина И.Л. Исследование адаптационной способности древесных культур и травянистого покрова в условиях урбанизированной среды (на примере г. Ижевска) // Вестник Нижегородского университета им. Лобачевского. Серия Биология. Выпуск 2 (8). – Н. Новгород: ННГУ, 2004. – С. 278-284.
2. Туганаев В.В., Бухарина И.Л., Туганаев А.В. Ботанические исследования в Удмуртском государственном университете // Известия Самарского научного центра РАН. – Самара: Изд-во Самарского НЦ РАН, 2007. – Т.9. – № 1 (19). – С. 96-106.
3. Бухарина И.Л., Поварничина Т.М., Ведерников К.Е., Двоглазова А.А. К вопросу об особенностях метаболизма основных элементов минерального питания у древесных растений в урбанизированной среде // Вестник СГАУ им. Н.И. Вавилова. – № 1. Выпуск 2. – 2007. – С. 18-22.
4. Бухарина И.Л., Ведерников К.Е., Поварничина Т.М. К вопросу о влиянии техногенной среды на формирование и биохимический состав годичного побега древесных растений // Вестник Иж ГТУ. – № 2 (34). – 2007. – С. 145-148.
5. Бухарина И.Л., Ведерников К.Е., Двоглазова А.А. Оценка экологического потенциала насаждений зеленой зоны Ижевска и возможные пути решения проблемы оптимизации городской среды // Известия Самарского научного центра РАН. – Самара: Самарский НЦ РАН, 2007. – Т.9. – № 4. – С. 1061-1067.
6. Бухарина И.Л. Особенности динамики основных элементов минерального питания в структурных частях древесных растений в условиях городской среды // Экология урбанизированных территорий. – 2008. – №2. – С.29-33.
7. Бухарина И.Л. Характеристика элементов антиоксидантной системы адаптации древесных растений в условиях городской среды // Вестник РУДН. Серия Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2008. – №2. – С. 5-13.
8. Бухарина И.Л. Эколого-биологические особенности адаптации древесных растений в условиях урбосреды // Известия Самарского научного центра РАН. – Самара: Самарский НЦ РАН, 2008. – Т. 10. – № 2 (19). – С. 607-612.
9. Бухарина И.Л. Состояние насаждений и их роль в экологической оптимизации среды крупного промышленного центра (на примере г. Ижевска) // Проблемы региональной экологии. – 2008. – №5. – С. 106-114.
10. Бухарина И.Л. Динамика содержания химических элементов в структурных частях древесных растений в условиях городской среды // Вестник СГАУ им. Н.И. Вавилова. – 2008. – №9. – С. 7-9. (в печати)

Статьи в сборниках международных и Всероссийских конференций

1. Бухарина И.Л. Экологическая оценка видов рода клен, произрастающих в г. Ижевске (Удмуртская республика) // Agriculture and Natural Resources The 3rd International Iran and Russia. – М.: МТАА, 2002. – С. 640-645.
2. Бухарина И.Л. Программа мониторинга состояния урбо-экосистемы // Вопросы экологии и природопользования в аграрном секторе: мат. Всерос. науч.-прак. конф. – Ижевск: УдГУ, 2003. – С. 120-122.
3. Бухарина И.Л. Анализ устойчивости растений в условиях техногенного загрязнения // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: мат. Всерос. науч. конф. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2004. – С. 144-145.

4. *Бухарина И.Л.* Роль Ботанического сада Удмуртского государственного университета в исследовании экологии и биологии городских зеленых насаждений // Жизнь в гармонии: ботанические сады и общество: мат. междунар. науч. конф. – Тверь: ООО «ГЕРС», 2004. – С.173-175.
5. *Бухарина И.Л., Ведерников К.Е.* Влияние городской среды на рост и развитие побегов древесных растений // Современные аспекты экологии и экологического образования: мат. Всерос. науч. конф. – Казань, 2005. – С.406-408.
6. *Бухарина И.Л.* Изучение состояния интродуцированных хвойных культур в условиях урбанизированной среды // Ботанические сады как центры сохранения биоразнообразия и рационального использования растительных ресурсов: мат. междунар. конф., посвященной 60-летию главного Ботанического сада им. Н.В. Цицина РАН. – М., 2005. – С. 70-74.
7. *Ведерников К.Е., Бухарина И.Л.* К вопросу о роли древесных насаждений, проблемах их создания, инвентаризации и паспортизации // Безопасность. Технологии. Управление: мат. междунар. конф. Ч.1. / Под науч. ред. Л.Н. Гориной. – Тольятти: ТГУ, 2005. – С. 104-108.
8. *Бухарина И.Л., Ведерников К.Е.* К вопросу о создании системы наблюдения за состоянием зеленых насаждения городов и их окрестностей // Проблемы биологической науки и образования в педагогических вузах.: мат. Всерос. науч.-практ. конф. Вып. 4 – Новосибирск, 2005. – С. 55-57.
9. *Бухарина И.Л., Ведерников К.Е.* Комплексный анализ состояния зеленых насаждений как элемент системы мониторинга окружающей среды урбанизированных территорий // Современные проблемы аграрной науки и пути их решения: мат. Всерос. науч.-практ. конф. Т.2. – Ижевск: ФГОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2005. – С. 123-128.
10. *Туганаев В.В., Бухарина И.Л.* К разработке стратегии экологической оптимизации города Ижевска и пригородного района // Реализация Стратегии устойчивого развития города Ижевска: опыт и проблемы: мат. межрег. науч.-практ. конф. – Ижевск: Ижевская республиканская типография, 2005. – С. 151-152.
11. *Туганаев В.В., Адаховский Д.А., Бухарина И.Л., Ведерников К.Е.* и др. Основные направления исследований экологической оптимизации сельских и урбанизированных территорий // Современные проблемы аграрной науки и пути их решения: мат. Всерос. науч.-практ. конф. Т.2. – Ижевск: Ижевская ГСХА, 2005. – С. 288-293.
12. *Бухарина И.Л., Поварницина Т.М.* Особенности загрязнения снежного покрова урбанизированных территорий тяжелыми металлами (на примере г. Ижевска) // Безопасность. Технологии. Управление: мат. междунар. конф. Ч.1. / Под науч. ред. Л.Н. Гориной. – Тольятти: ТГУ, 2005. – С. 87-91.
13. *Бухарина И.Л., Поварницина Т.М.* Роль древесных растений промышленных центров в круговороте основных элементов минерального питания // Современные аспекты экологии и экологического образования: мат. Всерос. науч. конф. – Казань, 2005. – С. 404-406.
14. *Бухарина И.Л.* Физиолого-биохимический анализ как элемент комплексной оценки состояния зеленых насаждений в системе экологического мониторинга больших городов // Экологические и гидрометеорологические проблемы больших городов и промышленных зон: мат. междунар. конф. – СПб: РГГМУ, 2005. – С. 17-19.

15. *Бухарина И.Л., Ведерников К.Е.* Функциональная роль насаждений городов и их окрестностей и система наблюдений за их состоянием // Лесопользование, экология и охрана лесов: фундаментальные и прикладные аспекты: мат. междунар. науч.-практ. конф. – Томск: STT, 2005. – С. 215-216.
16. *Бухарина И.Л.* Влияние казанской ботанической школы на эколого-ботанические и физиологические исследования городской растительности // Вопросы общей ботаники: традиции и перспективы: мат. междунар. науч. конф., посвящ. 200-летию кафедры ботаники. Ч.1. – Казань: КГУ, 2006. – С.16-17.
17. *Бухарина И.Л.* К вопросу о средорегулирующей роли древесных растений в условиях урбанизированной среды // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: мат. Всерос. науч. конф. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2006. – С. 308-310.
18. *Бухарина И.Л.* Крупные промышленные центры в рамках концепции Ген Джеймса Лавлока // Проблемы промышленной ботаники индустриально развитых регионов: мат. междунар. конф. – Кемерово: КРЭОО «Ирбис», 2006. – С.130-134.
19. *Бухарина И.Л., Ведерников К.Е., Поварницина Т.М.* Способы оценки средорегулирующей функции древесных растений крупного промышленного центра // Биоразнообразие и биоресурсы Урала и сопредельных территорий: мат. междунар. конф. – Оренбург: Институт биоресурсов и прикладной экологии, 2006. – С.149-151.
20. *Бухарина И.Л., Туганов В.В.* О необходимости экологического обустройства пригородных территорий // Творческое наследие В.И. Вернадского и проблемы формирования современного экологического сознания («Вернадские чтения»): матер. 5-ой междунар. науч. конф. – Донецк, 2007. – С. 262-263.
21. *Bukharina I.L.* To the new strategy of urbanized environment optimization // Advances in Modern Natural Sciences: Proceedings of 3rd International Conference INTERNAS 2007. – Kaluga, 2007. – P. 174-175.

Подписано в печать 09.12.08 г.

Формат 60 x 84/16. Усл. печ. л 2,32. Уч.-изд. л. 2,5

Тираж 150 экз. Заказ № 357.

ФГОУ ВПО «Ижевская ГСХА»

426069, г. Ижевск, ул. Студенческая, 11