

На правах рукописи

ВОСКРЕСЕНСКИЙ Владимир Станиславович

**ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ
В УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЕ**

03.02.08 – экология
(биологические науки)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Казань, 2011

Работа выполнена на кафедре экологии государственного
образовательного учреждения высшего профессионального образования
«Марийский государственный университет»

Научный руководитель: доктор биологических наук, профессор
Воскресенская Ольга Леонидовна

Официальные оппоненты: доктор биологических наук, профессор
Бухарина Ирина Леонидовна

доктор биологических наук, профессор
Любарский Евгений Леонидович

Ведущая организация: ФГОУ ВПО «Казанский государственный
аграрный университет»

Защита состоится «17» марта 2011 г. в 14³⁰ часов на заседании диссер-
тационного совета ДМ 212.081.19 при ФГОУ ВПО «Казанский (Приволж-
ский) Федеральный университет» по адресу: 420008, Республика Татар-
стан, г. Казань, ул. Кремлевская, д. 18

Факс: (843) 238-76-01

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке
им. Н.И. Лобачевского Казанского (Приволжского) Федерального универ-
ситета по адресу: г. Казань, ул. Кремлевская, 35

Автореферат разослан «__»_____ 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,
кандидат биологических наук, доцент



Зелеев Р.М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Урбанизацию можно охарактеризовать как глобальный социально-экономический процесс, сопровождающийся глубоким антропогенным изменением природы, заменой естественных экосистем урбосистемами. Сохранение биосферных функций городских экосистем и создание экологически благоприятной среды являются важнейшими проблемами современности [Кулагин, 1974; Тарабрин, 1986; Николаевский, 1979, 1998, 2002; Неверова, 2001, 2010; Кавеленова, 2005; Бухарина и др., 2007, 2010; Экология ..., 2007; Кузнецова, 2009; Уразгильдин, 2009 и др.].

Древесные растения широко используются в озеленении городов и являются наиболее чувствительными к изменению различных факторов среды и загрязнению воздуха. Они поглощают и нейтрализуют часть атмосферных поллютантов, задерживают пылевые частицы, сохраняя прилегающие территории от пагубного воздействия экотоксикантов [Розенберг и др., 1994; Фролов, 1998; Черненкова, 2002; Винокурова и др., 2002; Кулагин, Шагиева, 2005; Авдеева, 2007].

Исследование древесных растений и закономерностей их изменений под действием факторов городской среды представляет собой важную проблему, стоящую перед специалистами в области экологии и смежных наук. Это обусловлено, с одной стороны, масштабным воздействием различного рода токсических элементов на экосистемы, с другой – широким использованием растений разных жизненных форм для озеленения городов и создания промышленно-парковых зон. Важной особенностью древесных растений является функциональная поливариантность, способная сформировать так называемый адаптационный потенциал растений, составляющий основу их выживания и успешного развития, несмотря на влияние негативных факторов внешней среды.

В связи с возрастающим антропогенным воздействием на окружающую среду проблема ее загрязнения тяжелыми металлами и радионуклидами становится все более актуальной. Поэтому подходы, используемые в радиационной экологии и экологической физиологии растений, имеют особое значение, так как могут охарактеризовать особенности накопления тяжелых металлов и радиоактивных элементов, входящих в состав растений и дают возможность использовать полученные знания для определения функционального состояния растительных организмов. В настоящее время далеко не все аспекты отношений «растение – город» рассмотрены в достаточной мере. Так, недостаточно изучены физиолого-биохимические и радиобиологические особенности древесных растений в условиях комплексного воздействия факторов городской среды.

Целью исследования явилось изучение экологических особенностей функционирования древесных растений в условиях загрязнения городской среды.

В задачи работы входило:

1. Дать оценку состояния урбанизированной среды и охарактеризовать состав атмосферного воздуха г. Йошкар-Олы.
2. Изучить содержание и накопление тяжелых металлов и радиоактивных элементов в почвах различных функциональных зон г. Йошкар-Олы и на территории ООПТ Республики Марий Эл.
3. Установить закономерности содержания и распределения естественных и техногенных радионуклидов в органах древесных растений, произрастающих в городской среде и на ООПТ.
4. Исследовать содержание тяжелых металлов в древесных растениях, произрастающих в условиях урбозкосистем, и выявить видовую специфику.
5. Определить активность окислительно-восстановительных ферментов и установить их роль в приспособительных реакциях древесных растений к условиям антропогенного загрязнения.

Научная новизна работы.

1. Впервые в условиях г. Йошкар-Олы использован комплексный подход, в ходе которого проведена оценка состояния урбанизированной среды (атмосферы и почвы) и изучены физиологические и радиологические показатели древесных растений.
2. Показано, что активность окислительно-восстановительных ферментов в листьях (хвое) древесных растений имеет видовую специфику и четко реагирует на антропогенное загрязнение.
3. Впервые показано накопление и распределение радиоактивных элементов в органах древесных растений, произраставших в условиях городской среды (г. Йошкар-Ола) и на ООПТ Республики Марий Эл.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Содержание тяжелых металлов изменяется в почвах различных функциональных зон г. Йошкар-Олы, их поступление и распределение по органам древесных растений имеет видовую специфичность.
2. Оценка радиэкологической обстановки на территории г. Йошкар-Олы и ООПТ показывает, что искусственные радионуклиды имеют мозаичный характер распределения, что, связано с аэрозольными выпадениями их из атмосферы.
3. Спектр проявления функциональной поливариантности древесных растений характеризуется изменением активности окислительно-восстановительных ферментов; в условиях загрязнения городской среды уровень активности антиоксидантных ферментов имеет специфические для каждого вида особенности.

Практическая значимость. Результаты исследований предоставлены в Комитет экологии и природопользования администрации городского округа «Город Йошкар-Ола» и МУП «Город» для выполнения Муниципальной целевой долгосрочной программы «Экологическая безопасность г. Йошкар-Олы». Материалы исследований используются при проведении

занятий по «Большому практикуму» и курсу «Общая экология» для студентов специальности «Биоэкология».

Конкурсная поддержка работы. Исследования выполнялись при поддержке грантов РФФИ «Эколого-физиологические адаптации растений в условиях городской среды» №07-04-96619-р_Поволжье_a (2007–2009), «Оценка роли экологического и морфо-физиологического разнообразия в устойчивости популяций и сообществ» №07-04-00952 (2007–2009); в рамках задания Федерального агентства по образованию «Исследование функциональных особенностей биосистем в изменяющейся среде» (2007–2009), по договору «Организация исследований и проведение мероприятий в области экологии», заключенной с администрацией г. Йошкар-Олы.

Апробация работы. Результаты исследований и материалы диссертационной работы были представлены и обсуждены на: Всероссийской междисциплинарной научной конференции «Безопасность человека, общества, природы в условиях глобализации как феномен современной науки и практики» (Йошкар-Ола, 2005); II Всероссийской научной конференции «Принципы и способы сохранения биоразнообразия» (Йошкар-Ола, 2006); 60-ой научной студенческой конференции Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского (Нижегород, 2007); Всероссийском популяционном семинаре «Современное состояние и пути развития популяционной биологии» (Ижевск, 2008); Международной научно-практической конференции «Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства» Мосоловские чтения (Йошкар-Ола, 2009, 2011); Международной научной конференции «Физико-химические механизмы адаптации растений к антропогенному загрязнению в условиях Крайнего Севера» (Апатиты, 2009); Всероссийской научной конференции (с международным участием) «Актуальные проблемы экологии и природопользования» (Москва, 2009); Всероссийской научной конференции «Поливариантность развития организмов, популяций и сообществ» (Йошкар-Ола, 2010); V научной школе «Наука и инновации – 2010», V международном научном семинаре «Фундаментальные исследования и инновации» (Йошкар-Ола, 2010); IV Всероссийской научной конференции с международным участием «Принципы и способы сохранения биоразнообразия» (Йошкар-Ола, 2010).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 12 работ, в том числе 2 статьи в журналах, рекомендованных ВАК.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 6 глав, списка литературы и приложений. Объем работы составляет 194 страницы машинописного текста, в том числе 15 таблиц, 36 рисунков и приложения. Список литературы включает 331 наименование, 57 из которых принадлежат зарубежным авторам.

Личное участие автора в получении научных результатов. Исследования выполнены при непосредственном участии автора на всех этапах:

постановки целей и задач исследований, выбора методов исследований, обработки и анализа литературных данных, постановки и проведения экспериментов, статистической обработки и интерпретации полученных результатов.

Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

В главе дан обзор отечественных и зарубежных работ по теме диссертационной работы; рассмотрено влияние антропогенного загрязнения на фотосинтез, дыхание, водный и минеральный обмен древесных растений [Кулагин, 1974; Тарабрин, 1975; Гетко, 1989; Кения, 1993; Николаевский, 1998, 2002; Неверова, 2001, 2010; Кавеленова, 2005; Воскресенская, Сарбаева, 2006; Бухарина и др., 2007; Экология ..., 2007; Кошкин, 2010 и др.].

В обзоре литературы рассмотрены некоторые аспекты аккумуляции и распределения тяжелых металлов [Сабинин, 1965; Добровольский, 1983; Косицин, Алексеева-Попова, 1983; Калимова, Алексеева-Попова, 1997; Лянгузова, 1999, 2009; Кулагин, Шагиева, 2005; Титов и др., 2007; Кузнецова, 2009; Башмаков, Лукаткин, 2009; Turner, 1969; Wu, 1975] и специфика накопления радионуклидов в почвах и растениях [Тимофеев-Ресовский, 1962; Тихомиров, 1972; Алексахин, 1982; Таскаев и др., 1988; Алексахин, Фесенко, 2006; Романов и др., 2006; Whicker, Shultz, 1982 и др.].

Глава 2. МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Работа проводилась в соответствии с программой исследований, представленной на схеме (рис. 1). Изучение состояния урбанизированной среды включало анализ основных загрязнителей атмосферы, содержания радионуклидов, тяжелых металлов в почве и растениях и эколого-физиологическую характеристику древесных растений.

Объектами исследования были средневозрастные генеративные древесные растения: сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris* L.); береза повислая (*Betula pendula* Roth.); липа сердцевидная (*Tilia cordata* Mill.). Растения произрастали на территории г. Йошкар-Олы с разной степенью антропогенного загрязнения: 1) условно чистое местообитание (*лесопарковая зона*) – ООПТ «Сосновая роща», Парк им. 30-летия ВЛКСМ; 2) среднезагрязненный район (*селитебная зона*) – ул. Осипенко, ул. Некрасова, м-н «Нагорный»; 3) загрязненный район (*промышленная зона*) – ОАО «ММЗ», ОАО «ОКТБ Кристалл». В качестве районов сравнения были взяты территории ООПТ Республики Марий Эл: НП «Марий Чодра» и ГПЗ «Большая Кокшага».

О состоянии урбанизированной среды судили по составу атмосферного воздуха и почвы. В пробах атмосферного воздуха определяли концентрацию пыли фильтром АФА-ВП-20, диоксида азота – фотометрически по азокрасителю, диоксида серы – турбодиметрическим методом по хлориду бария. Измерение содержания оксида углерода осуществлялось на приборе Анкат-7654-01 [Руководство по контролю ..., 1991; Сборник методик ..., 1993].

Исследования по изучению радиоактивности проводились в аккредитованной лаборатории «Висан» МарГУ и «Биоэкос» МарГТУ на гамма-спектрометре [ГОСТ ..., 1984; Методика ..., 1996]. Определение содержания тяжелых металлов проводили атомно-адсорбционным методом в аккредитованной лаборатории кафедры химии МарГТУ [ГОСТ 17.4.3.01, 1981; Ермаченко, 1997]. Определяли активность окислительно-восстановительных ферментов: общей пероксидазы (КФ 1.11.1.7) и полифенолоксидазы (КФ 1.14.18.1) спектрофотометрическим методом по А.Н. Бояркину (1951), каталазы (КФ 1.11.1.6) – газометрическим методом [Prasad et al., 1999].

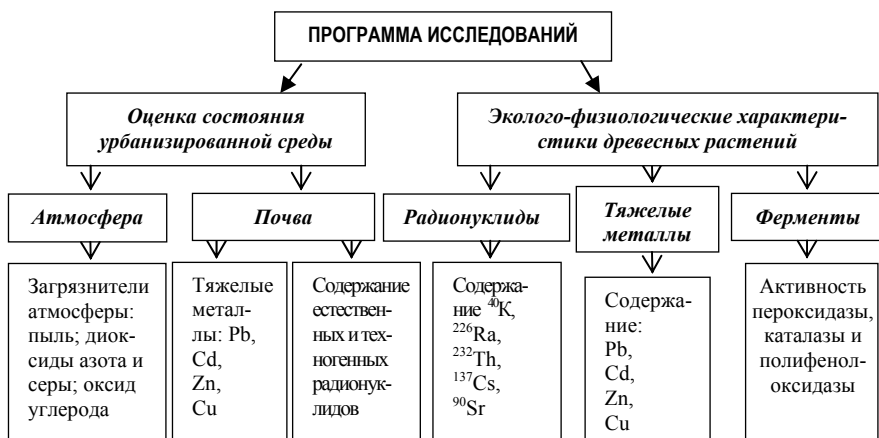


Рис. 1. Схема программы исследования

Экспериментальный материал был обработан статистически. В работе использовались следующие статистические характеристики: среднее арифметическое, ошибка среднего арифметического, кластерный анализ (метод К – средних) [Sokal, Rohlf, 1995]. Статистическую обработку данных проводили с помощью программ «STATISTICA 5.5 и 6.1».

Глава 3. ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УРБАНИЗИРОВАННОЙ СРЕДЫ

Состояние атмосферного воздуха города Йошкар-Олы. Одним из наиболее токсичных веществ, попадающих в атмосферный воздух, является продукт неполного сгорания топлива – оксид углерода. Концентрация СО в атмосферном воздухе г. Йошкар-Олы колебалась в пределах 0,1 до 0,3 ПДК (рис. 2), при этом в 2009 году по сравнению с 2008 годом содержание СО возросло. Содержание оксида углерода в атмосферном воздухе за весь период наблюдений на всех маршрутных постах г. Йошкар-Олы соответствовало гигиеническим нормативам (ПДК = 5,0 мг/м³).

Концентрация диоксида азота на территории г. Йошкар-Олы не превышала гигиенических нормативов ($0,2 \text{ мг/м}^3$). Максимальное значение $0,45 \text{ ПДК}$ было отмечено в 2009 году в промышленной зоне города. Диоксид серы (SO_2) – один из наиболее опасных загрязнителей атмосферного воздуха. Проведенный количественный химический анализ проб атмосферного воздуха показал увеличение концентрации диоксида серы в промышленном районе г. Йошкар-Олы, при этом превышения ПДК ($0,5 \text{ мг/м}^3$) не наблюдалось (рис. 2).

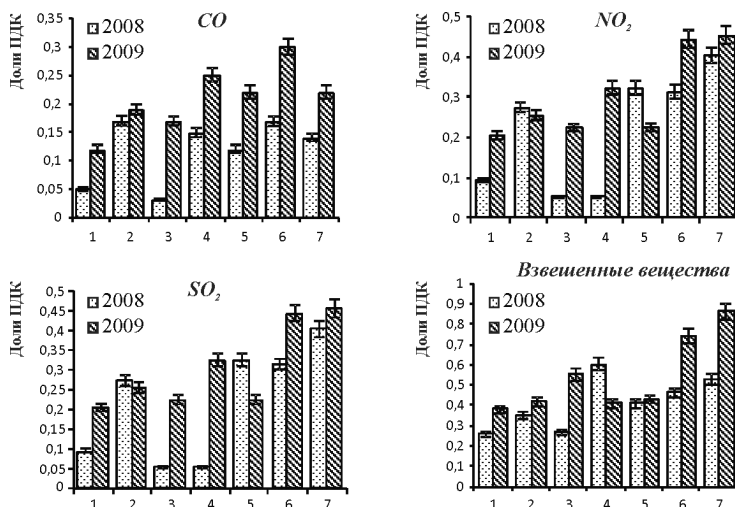


Рис. 2. Динамика изменения содержания основных загрязнителей атмосферного воздуха в различных функциональных зонах г. Йошкар-Олы:
Лесопарковая зона: 1 – ООПТ «Сосновая роща»; 2 – Парк им. 30-летия ВЛКСМ;
Селитебная зона: 3 – ул. Осипенко, 4 – ул. Некрасова, 5 – м-н «Нагорный»;
Промышленная зона: 6 – ОАО «ММЗ», 7 – ОАО «ОКТБ Кристалл»

В различных функциональных зонах г. Йошкар-Олы концентрация взвешенных частиц в атмосферном воздухе колебалась от $0,2$ до $0,6 \text{ ПДК}$. В промышленном районе города в 2009 г. отмечено увеличение содержания взвешенных частиц, которое составило $0,85 \text{ ПДК}$. В целом следует сказать, что в 2009 г. по сравнению с 2008 г. наблюдалась тенденция к повышению концентраций основных загрязнителей воздуха г. Йошкар-Олы. Эту тенденцию подтверждает комплексный индекс загрязнения атмосферы, который увеличился с $1,38$ в 2008 г. до $1,64$ в 2009 г. [Ведение мониторинга ..., 2009].

Содержание тяжелых металлов в почвах г. Йошкар-Олы. Тяжелые металлы являются наиболее распространенными загрязнителями и содержатся во всех средах – в воздухе, воде и почве [Башмаков, Лукаткин, 2009].

Содержание свинца в почве ООПТ «Сосновая роща» было низким и составило 2,4 мг/кг (рис. 3), относительно высоким (более 5 мг/кг) было его содержание в почвах ОАО «ММЗ». Выше ПДК было содержание Pb в почвах ОКТБ «Кристалл», которое составляло 7 мг/кг, что равно 1,2 ПДК. Содержание кадмия было ниже ПДК во всех районах исследований.

Содержание подвижных форм меди в лесопарковой и селитебной зонах значительно превышало установленные гигиенические нормативы (ПДК = 3 мг/кг) в 2–5 раза (рис. 3). Концентрация меди в почвах промышленного района города превышала ПДК более чем в 10 раз. Особенно высокий уровень содержания Cu был характерен для почв ОАО «ММЗ» (48,9 мг/кг). Содержание цинка в лесопарковой зоне было ниже ПДК (23 мг/кг). В других районах города (промышленная зона) содержание данного элемента превышало ПДК (ОАО «ММЗ» – 25 мг/кг).

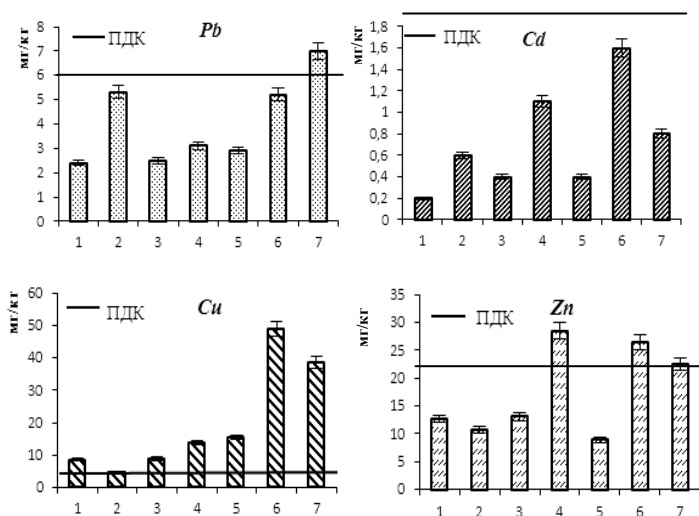


Рис. 3. Содержание тяжелых металлов в почвах г. Йошкар-Олы:

Лесопарковая зона: 1 – ООПТ «Сосновая роща»; 2 – Парк им. 30-летия ВЛКСМ;

Селитебная зона: 3 – ул. Осипенко, 4 – ул. Некрасова, 5 – м-н «Нагорный»;

Промышленная зона: 6 – ОАО «ММЗ», 7 – ОАО «ОКТБ Кристалл»

В промышленном районе г. Йошкар-Олы отмечается превышение ПДК практически по всем исследуемым тяжелым металлам, за исключением кадмия. При этом особенно высок уровень содержания подвижных форм меди и цинка. Следовательно, в различных функциональных зонах города наблюдается неоднородное распределение ТМ.

Оценка степени загрязненности почв радионуклидами. В настоящее время интерес к загрязнению радиоактивными веществами вырос в связи с проявлениями острых токсичных эффектов, вызванных загрязнением

стронцием-90 и цезием-137. В природных условиях радиоактивные вещества не относятся к особо опасным загрязнителям городской среды, таким как диоксид серы, озон, оксиды азота, оксид углерода, ртуть и свинец [Mashyanov, 1995].

Изучение активности основных природных радионуклидов (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th) дает представление о естественном радиоактивном фоне. Известно, что основной вклад в содержание радионуклидов в почвах исследуемых территорий вносит ^{40}K . Калий-40 относится к основным (по активности) естественным радионуклидам в биологических объектах и своим излучением создает естественное (фоновое) облучение. При распаде ^{40}K превращается в основном в стабильный изотоп кальция-40 [Черных, Сидоренко, 2003].

Содержание ^{40}K неравномерно распределено по территории Республики Марий Эл (рис. 4). Высоким содержанием ^{40}K характеризовались почвы промышленной зоны г. Йошкар-Олы; почти в два раза ниже содержание данного изотопа – в селитебной зоне. В НП «Марий Чодра» и ГПЗ «Большая Кокшага» содержание ^{40}K было значительно меньше, чем на территории города. Таким образом, в промышленной зоне г. Йошкар-Олы содержание ^{40}K было в 4,5 раза больше, чем в почвах НП «Марий Чодра», и в 9 раз больше, чем в почвах ГПЗ «Большая Кокшага».

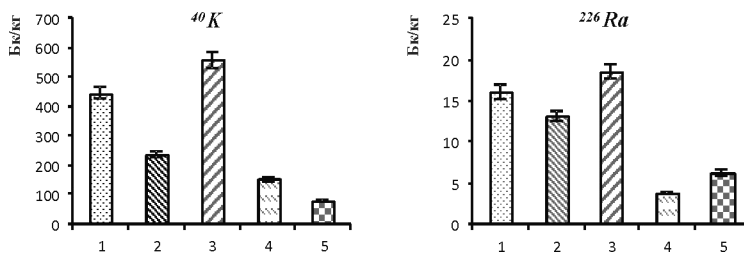


Рис. 4. Содержание естественных радионуклидов в почвах РМЭ:

г. Йошкар-Ола: 1 – Лесопарковая зона, 2 – Селитебная зона, 3 – Промышленная зона; 4 – НП «Марий Чодра»; 5 – ГПЗ «Большая Кокшага»

В почвах г. Йошкар-Олы максимальное количество радионуклида ^{226}Ra обнаружено в зоне антропогенного загрязнения (18,3 Бк/кг), сравнительно низкое количество радия-226 отмечено в селитебной зоне (12,9 Бк/кг). В почвах НП «Марий Чодра» содержание ^{226}Ra было ниже, чем в заповеднике. Количество ^{226}Ra на ООПТ было в 3 раза меньше по сравнению с почвами г. Йошкар-Олы.

Относительно высокое содержание ^{232}Th обнаружено в почвах лесопарковой зоны города (26,5 Бк/кг), значительно меньше в промышленной и селитебной зонах г. Йошкар-Олы ($p < 0,04$).

На основании проведенных работ по изучению содержания естественных радионуклидов, можно отметить, что наиболее высокий уровень

содержания ^{40}K , ^{226}Ra и ^{232}Th характерен для антропогенных территорий (г. Йошкар-Ола), содержание данных радионуклидов на ООПТ было значительно ниже. При этом можно сказать, что естественная радиоактивность почв Республики Марий Эл не выходит за пределы общероссийских показателей.

Основными радионуклидами, определяющими характер техногенного загрязнения, являются ^{137}Cs и ^{90}Sr . На территории РМЭ зафиксированы локальные загрязнения почвы техногенными радионуклидами. Так, в г. Йошкар-Оле уровень загрязнения почв ^{137}Cs колебался от 12,5 Бк/кг в лесопарковой зоне до 25,1 Бк/кг в промышленной зоне города (рис. 5).

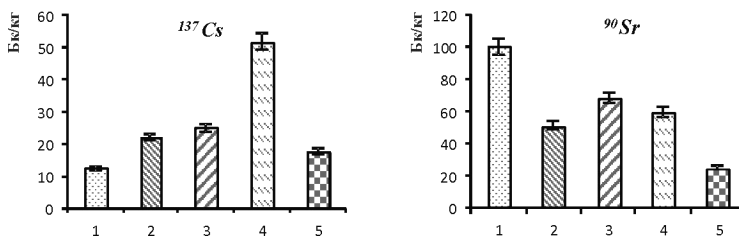


Рис. 5. Содержание техногенных радионуклидов в почвах РМЭ:

г. Йошкар-Ола: 1 – Лесопарковая зона, 2 – Селитебная зона, 3 – Промышленная зона; 4 – НП «Марий Чодра»; 5 – ГПЗ «Большая Кокшага»

Анализируя содержание ^{137}Cs в НП «Марий Чодра» следует отметить, что уровень его был достаточно высоким и составил более 52 Бк/кг, самое низкое содержание ^{137}Cs зафиксировано на территории заповедника «Большая Кокшага». Результаты статистически достоверны ($p < 0,045$).

Максимальное количество ^{90}Sr обнаружено в лесопарковой зоне и минимальный уровень – в селитебной зоне г. Йошкар-Олы (рис. 5). Количество ^{90}Sr в почвах НП «Марий Чодра» в 2 раза ниже, чем в г. Йошкар-Оле ($p < 0,05$). Содержание стронция-90 в почвах ГПЗ «Большая Кокшага» было почти в 4 раза ниже, чем в почвах г. Йошкар-Олы.

Таким образом, природные радионуклиды концентрировались в основном в городских почвах, на ООПТ их содержание было в 3–6 раз ниже. Из техногенных радионуклидов цезий накапливался в НП «Марий Чодра», а стронций – в лесопарковой зоне г. Йошкар-Олы. На обследованной территории РМЭ суммарная концентрация ^{137}Cs была почти в 2 раза ниже, чем ^{90}Sr .

Глава 4. ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОНУКЛИДОВ ДРЕВЕСНЫМИ РАСТЕНИЯМИ

В связи с широким распространением радионуклидов существует острая необходимость комплексного изучения свойств и поведения радиоактивных элементов в растениях. Более высоким уровнем содержания

радиоактивного калия характеризовались органы (в основном однолетняя хвоя) особой *P. sylvestris*, выросших в городских условиях (рис. 6). По абсолютному содержанию ^{40}K в *P. sylvestris* было в 3 раза больше в промышленном районе по сравнению с лесопарковой и селитебной зонами города, $p < 0,05$. Высоким содержанием данного радионуклида (468 Бк/кг) характеризовались особи *P. sylvestris*, произраставшие в промышленном районе г. Йошкар-Олы (рис. 6). Содержание радиоактивного калия в органах *P. sylvestris*, произраставшей в лесопарковой зоне г. Йошкар-Олы, ГПЗ «Большая Кокшага» и НП «Марий Чодра» было примерно одинаковым и находилось в пределах 100 Бк/кг.

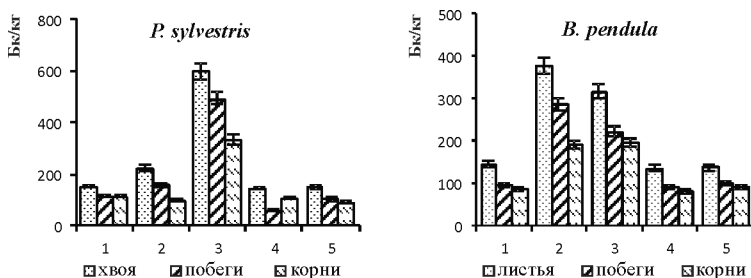


Рис. 6. Содержание ^{40}K в различных органах сосны обыкновенной и березы повислой: г. Йошкар-Ола: 1 – Лесопарковая зона, 2 – Селитебная зона, 3 – Промышленная зона; 4 – Национальный парк «Марий Чодра»; 5 – ГПЗ «Большая Кокшага»

Наземные органы (листья) *B. pendula* (рис. 6) характеризовались более высоким уровнем содержания ^{40}K по сравнению с другими исследуемыми органами растений (побеги, корни) в среднем на 30–40 % во всех районах исследований. У особей *B. pendula*, произраставших в селитебной и промышленной зоне, содержание данного изотопа было почти в 2–3 раза выше, чем в лесопарковой зоне города. Содержание ^{40}K в органах *T. cordata* имело четко выраженную зависимость от районов произрастания. Так, относительно низкое содержание ^{40}K отмечено у растений лесопарковой зоны; в 6–9 раз выше – у особей, произраставших в селитебной и промышленной зонах. При этом содержание ^{40}K в листьях *T. cordata* лесопарковой зоны было в 2, а промышленной зоны – в 3 раза выше, чем в побегах и корнях.

Природный радионуклид ^{226}Ra накапливается в основном в хвое *P. sylvestris*, произраставшей в различных районах исследований (рис. 7). Содержание радионуклида ^{232}Th у особей *P. sylvestris* (хвоя) и *B. pendula* (листья) было выше, чем в побегах и корнях (рис. 7). По содержанию природных радионуклидов в древесных растениях можно построить следующий убывающий ряд: $^{40}\text{K} \rightarrow ^{226}\text{Ra} \rightarrow ^{232}\text{Th}$. Наиболее высокое содержание природных радионуклидов отмечается в листьях (хвое), затем – в побегах, менее всего их обнаруживается в корнях.

Накопление техногенных радионуклидов (^{137}Cs) в древесных растениях, выглядело следующим образом. В хвое *P. sylvestris* количество радиоактивного цезия в разных районах г. Йошкар-Олы было на 25 % выше, чем в побегах. Содержание ^{137}Cs в *P. sylvestris*, произраставшей в ГПЗ «Большая Кокшага» было достоверно ниже, чем у растений городской среды ($p < 0,042$) (рис. 8).

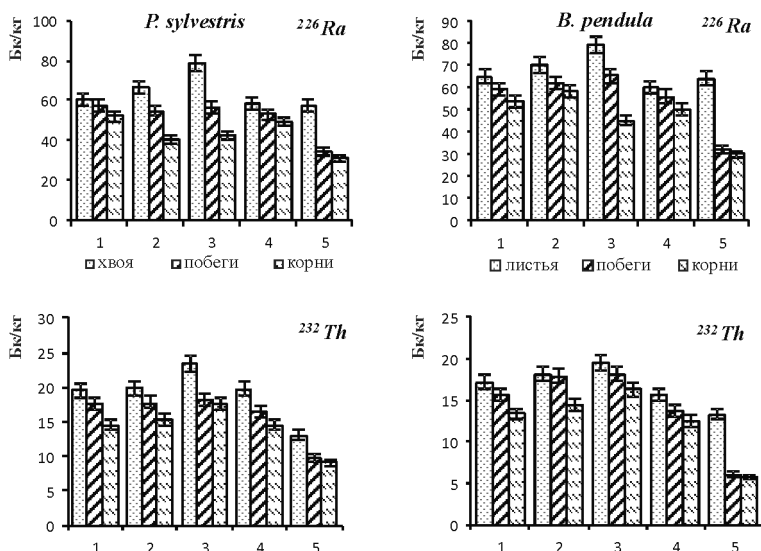


Рис. 7. Содержание природных радионуклидов в различных органах древесных растений: г. Йошкар-Ола: 1 – Лесопарковая зона, 2 – Селитебная зона, 3 – Промышленная зона; 4 – НП «Марий Чодра», 5 – ГПЗ «Большая Кокшага»

По содержанию цезия-137 в органах *B. pendula* можно построить следующий убывающий ряд: листья > корни > побеги. Здесь впервые наблюдается четко выраженная тенденция – уменьшение количества ^{137}Cs в побегах *B. pendula* по сравнению с корнями во всех районах исследований (рис. 8). Рассматривая различные места произрастания *P. sylvestris* и *B. pendula*, следует отметить, что наиболее высокий уровень накопления ^{137}Cs характерен для древесных растений, произраставших в условиях городской среды, менее высокий для НП «Марий Чодра», а меньше всего содержалось радиоактивного цезия в растениях, произраставших в ГПЗ «Большая Кокшага». Изучение содержания цезия-137 у *T. cordata*, произраставших в г. Йошкар-Оле, показало, что в листьях исследуемого вида содержание ^{137}Cs было почти в 2 раза выше, чем в побегах и корнях.

Накопление ^{90}Sr в органах древесных растений имело тенденцию к снижению от листьев (хвои) к корням как у *P. sylvestris*, так и у *B. pendula* во

всех районах исследований (рис. 8). У растений *P. sylvestris*, произраставших в г. Йошкар-Оле содержание ^{90}Sr изменялось следующим образом: самое большое количество данного радионуклида обнаружено в селитебной зоне города, а минимальное – в лесопарковой зоне. Среднее содержание ^{90}Sr у *P. sylvestris* – представителя городской флоры было равно 34 Бк/кг, далее по мере уменьшения содержания > НП «Марий Чодра» (25 Бк/кг) > ГПЗ «Большая Кокшага» (19 Бк/кг).

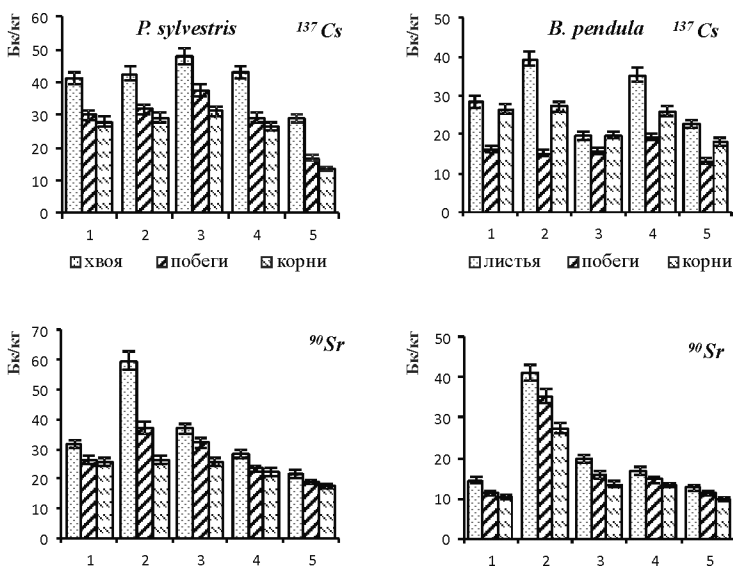


Рис. 8. Содержание техногенных радионуклидов в различных органах древесных растений:
г. Йошкар-Ола: 1 – Лесопарковая зона, 2 – Селитебная зона, 3 – Промышленная зона;
4 – НП «Марий Чодра», 5 – ГПЗ «Большая Кокшага»

Самое низкое содержание ^{90}Sr было характерно для растений *B. pendula*, произраставших в лесопарковой зоне города (12 Бк/кг) и ГПЗ «Большая Кокшага» (11 Бк/кг). Высокими показателями характеризовались особи *B. pendula* из селитебной зоны г. Йошкар-Олы (35 Бк/кг) (рис. 8). Различия в поступлении ^{90}Sr обусловлены биологическими особенностями древесных растений. Стронций-90 может длительно (многие годы) оставаться в обменной форме, в связи с этим он хорошо усваивается растениями.

Таким образом, содержание природных и техногенных радионуклидов неоднородно на территории Республики Марий Эл, а, следовательно, количество радионуклидов существенно изменяется в древесных растениях. Так, ^{40}K накапливается в основном в органах *P. sylvestris* в промышленной зоне г. Йошкар-Олы. Существенных отличий по содержанию ^{226}Ra и ^{232}Th

в зависимости от районов исследований не обнаружено; радиоактивного радия в древесных растениях содержится в 2–3 раза больше, чем тория.

В ходе проведенных исследований впервые показано распределение радиоактивных элементов в органах листовых и древесных растений, произраставших в условиях г. Йошкар-Олы и на ООПТ РМЭ.

Глава 5. СОДЕРЖАНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Исследование особенностей аккумуляции тяжелых металлов древесными растениями в условиях городской среды показало (рис. 9), что содержание свинца в хвое *P. sylvestris* в 4–5 раз ниже по сравнению с листьями *B. pendula* и *T. cordata*. По количественному содержанию свинца древесные растения образуют ряд: *B. pendula* > *T. cordata* > *P. sylvestris*. В листьях *B. pendula* содержание свинца увеличивалось по мере усиления загрязнения среды. Содержание свинца в листьях *T. cordata* было несколько ниже, чем у *B. pendula*. У древесных растений, произраставших в различных функциональных зонах г. Йошкар-Олы, содержание свинца находилось на границе нижних пределов ПДК (0,5–1,2 мг/кг).

Содержание кадмия в хвое *P. sylvestris* составило 0,05 мг/кг, а в листьях *B. pendula* и *T. cordata* – 0,1 мг/кг. Отмечены значимые различия по аккумуляции кадмия разными видами – *T. cordata*, *B. pendula* и *P. sylvestris* ($p < 10^{-6}$). Самое высокое содержание кадмия было обнаружено в листьях *B. pendula*.

Известно, что Pb и Cd не участвуют в метаболизме растений и токсичны даже в очень низких концентрациях. В условиях г. Йошкар-Олы данные ТМ накапливаются в основном в листьях *T. cordata*, *B. pendula* и значительно меньше в хвое *P. sylvestris*. Полученные результаты не выходят в целом за пределы ПДК, которые для свинца равны 10–20; для кадмия составляют 1–6 мг/кг.

Из всех исследованных металлов у растений в максимальном количестве накапливается цинк (рис. 9). Наиболее высокое содержание цинка из всех изученных древесных растений характерно для *B. pendula* во всех функциональных зонах города и находилось в пределах 13,5–21,6 мг/кг. При этом между экологически разными районами исследований наблюдались статистически значимые отличия ($p < 0,043$). Содержание цинка в листьях *B. pendula*, произраставших в промышленном районе г. Йошкар-Олы, было в 1,6 раза выше, чем у растений лесопарковой зоны. По содержанию цинка в древесных растениях можно построить следующий убывающий ряд: *B. pendula* > *T. cordata* > *P. sylvestris*. Концентрация цинка у изученных древесных растений несколько увеличивалась по мере усиления техногенной нагрузки на среду. Накопление Zn растениями было значительно выше на территориях, где обнаружено наибольшее высокое содержание цинка в почве.

Исследование содержания меди показало (рис. 9), что у особей *B. pendula* и *T. cordata* количество данного элемента было выше, чем у *P. sylvestris* практически в 2 раза. У *P. sylvestris* содержание меди было минимальным (1,8–2,5 мг/кг). Максимум концентрации меди отмечен у древесных растений, произрастающих в промышленной зоне г. Йошкар-Олы, и составил у *B. pendula* 5,5, а у *T. cordata* – 4,8 мг/кг.

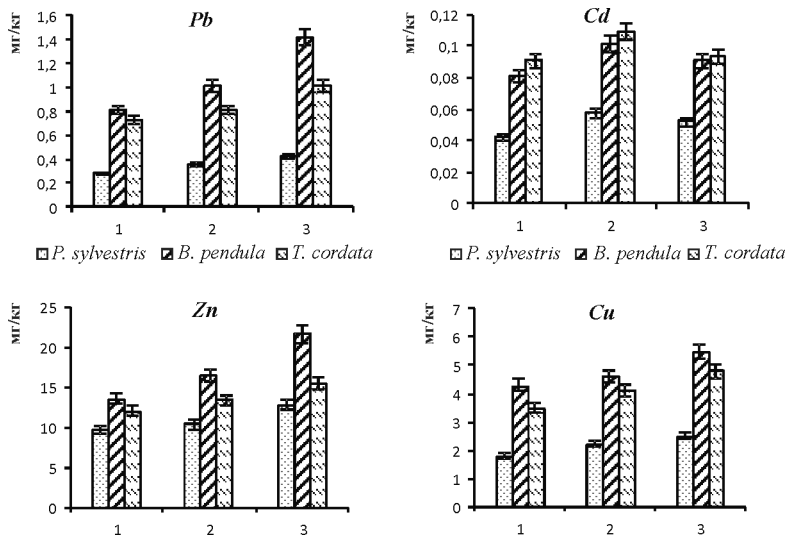


Рис. 9. Содержание тяжелых металлов в листьях (хвое) древесных растений:
1 – Лесопарковая зона; 2 – Селитебная зона; 3 – Промышленная зона

Таким образом, у исследуемых древесных растений наблюдалась различная аккумулирующая способность по отношению к тяжелым металлам: на первом месте по способности накапливать тяжелые металлы стоит *B. pendula*, затем *T. cordata*, а наименьшей способностью к накоплению ТМ обладает *P. sylvestris*.

Глава 6. ИЗМЕНЕНИЕ ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ В ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЯХ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

Изменение активности антиоксидантных систем наблюдается в ответ на действие неблагоприятных факторов среды, таких как повышение концентрации тяжелых металлов в среде [Prasad, 1999] и загрязнение атмосферного воздуха [Alscher, 1997]. К биохимическим тестам, получившим широкое распространение для оценки состояния окружающей среды, относится работа антиоксидантных ферментативных систем. Нами было

проведено изучение активности окислительно-восстановительных ферментов (пероксидазы, каталазы и полифенолоксидазы) у древесных растений в условиях городской среды.

Как видно из таблицы 1, хвоя *P. sylvestris* характеризовалась достаточно высокими показателями активности пероксидазы по сравнению с листьями *B. pendula* и *T. cordata*. Так, активность фермента в хвое *P. sylvestris* была в 1,5 раза выше, чем в листьях *B. pendula*, и почти в 3 раза выше, чем в ассимиляционных органах *T. cordata*. Активность другого фермента полифенолоксидазы – также возрастала у всех древесных растений по мере усиления загрязнения среды обитания.

Таблица

Изменение активности окислительно-восстановительных ферментов в листьях (хвое) древесных растений

Список видов	Ферменты	Лесопарковая зона	Селитренная зона	Промышленная зона
Сосна обыкновенная (<i>P. sylvestris</i>)	Пероксидаза	2,5 ± 0,12	4,5 ± 0,23	5,5 ± 0,28
	Каталаза	7,3 ± 0,36	4,1 ± 0,21	4,9 ± 0,25
	Полифенолоксидаза	0,5 ± 0,02	0,6 ± 0,02	0,7 ± 0,03
Береза повислая (<i>B. pendula</i>)	Пероксидаза	1,5 ± 0,06	3,1 ± 0,15	4,2 ± 0,21
	Каталаза	17,3 ± 0,86	15,0 ± 0,75	13,2 ± 0,66
	Полифенолоксидаза	1,1 ± 0,05	1,3 ± 0,06	1,5 ± 0,06
Липа сердцевидная (<i>T. cordata</i>)	Пероксидаза	1,0 ± 0,05	1,4 ± 0,07	1,8 ± 0,09
	Каталаза	21,5 ± 1,07	19,1 ± 0,95	16,6 ± 0,83
	Полифенолоксидаза	0,9 ± 0,05	1,0 ± 0,05	1,2 ± 0,05

Примечание: единицы измерения: мкмоль/мин г. – пероксидаза, полифенолоксидаза; мкмоль O²/г мин – каталаза

Сравнение экологически различных районов г. Йошкар-Олы показало, что в хвое *P. sylvestris* наблюдается увеличение ферментативной активности, начиная от лесопарковой зоны к промышленной зоне. В листьях *B. pendula* и *T. cordata* также наиболее высокая активность пероксидазы отмечалась в промышленной зоне города. Из всех исследуемых видов *P. sylvestris*, *B. pendula*, *T. cordata* самая низкая ферментативная активность характерна для растений лесопарковой зоны города (p < 0,001).

В хвое *P. sylvestris* наиболее высокая активность каталазы отмечена в лесопарковой зоне. У *B. pendula* наблюдалось снижение активности фермента у особей, произраставших в более загрязненных районах в 1,3 раза по сравнению с лесопарковой зоной г. Йошкар-Олы, p < 0,001. Активность фермента каталазы в листьях *T. cordata* была самой высокой из всех изученных видов растений (21,6 мкмоль O²/г мин – лесопарковая

зона) и уменьшалась в зависимости от степени загрязнения района исследований ($p < 0,035$).

Сравнивая особенности работы фермента в зависимости от специфики вида, можно сказать, что самая низкая активность фермента каталазы была характерна для хвои *P. sylvestris*. Одновременно самая высокая активность другого фермента пероксидазы была также характерна для *P. sylvestris*. В листьях *B. pendula* и *T. cordata* активность каталазы была соответственно в 3,4 и 3,9 раз выше, чем в хвое *P. sylvestris*.

Таким образом, комплекс негативных факторов урбанизированной среды, оказал на древесные растения определенное влияние. По мере усиления загрязнения среды увеличилась активность фермента пероксидазы и полифенолоксидазы, одновременно снизилась активность фермента каталазы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные в ходе работы результаты можно обобщить в виде следующей схемы, показывающей эколого-физиологическую характеристику древесных растений в условиях г. Йошкар-Олы (рис. 10). Проведенная оценка состояния урбанизированной среды формирует так называемый адаптационный потенциал древесных растений, составляющий основу выживания и успешного развития под влиянием факторов внешней среды.

Оценка состояния атмосферного воздуха позволяет сделать вывод, что в г. Йошкар-Оле основными загрязнителями атмосферы являются пыль, диоксид серы, диоксид азота, а также оксид углерода. Мониторинг за содержанием данных ингредиентов и радиационным фоном на протяжении ряда лет показал, что в 2005–2007 гг. содержание пыли (в 2–8 раз) и диоксида серы (в 2–4 раза) превышало ПДК. Остальные параметры находились на уровне предельно допустимых концентраций. За последние два года наблюдений (2008–2009 гг.) значительных отклонений от ПДК по основным загрязнителям атмосферы не обнаружено.

При анализе почв на содержание ТМ в г. Йошкар-Оле отмечен высокий уровень содержания подвижных форм цинка, меди и свинца в промышленной зоне, при этом содержание меди выше ПДК (в 2–10 раз) обнаружено во всех исследуемых районах города. Уровень содержания кадмия в местах взятия проб на территории г. Йошкар-Олы не превышал ПДК.

Значительное количество естественного радионуклида (^{40}K) и техногенного радионуклида (^{137}Cs) обнаружено в почвах промышленного района г. Йошкар-Олы, их содержание было в 2 раза выше по сравнению с лесопарковой зоной. Содержание других радионуклидов в промышленной зоне города достоверно ниже: ^{232}Th – на 50 % и ^{90}Sr – на 60 % по сравнению с другими исследуемыми районами ($p < 0,05$).

Городские почвы разного уровня и степени урбанизации: лесопарковые, селитебные и промышленные территории – существенно различаются.

В лесопарках свойства почв близки к таковым на территориях, не подверженных значительным антропогенным изменениям. В жилых зонах преобладают нарушенные почвы (урбаноземы), в промышленных зонах почвы деградированы и содержат ТМ и радионуклиды.

Нами дана эколого-физиологическая характеристика древесным растениям (*P. sylvestris*, *B. pendula*, *T. cordata*), произраставших в условиях городской среды, которая включала в себя, определение содержания радиоактивных элементов, тяжелых металлов и изменение активности ферментов.

При изучении содержания радиоактивных элементов было показано (рис. 10), что содержание ^{40}K в промышленном районе города в органах *P. sylvestris* (хвое, побегах, корнях) было в 3–5 раз больше, чем у растений, произраставших в лесопарковой зоне. Еще более высокие показатели характерны для *T. cordata*: в промышленном районе г. Йошкар-Олы содержание радиоактивного калия в органах *T. cordata* было в 6–9 раз выше, чем у растений лесопарковой зоны. При этом у другого вида – *B. pendula* отмечалось некоторое снижение содержания данного радионуклида в промышленной зоне по сравнению с другими районами исследований.

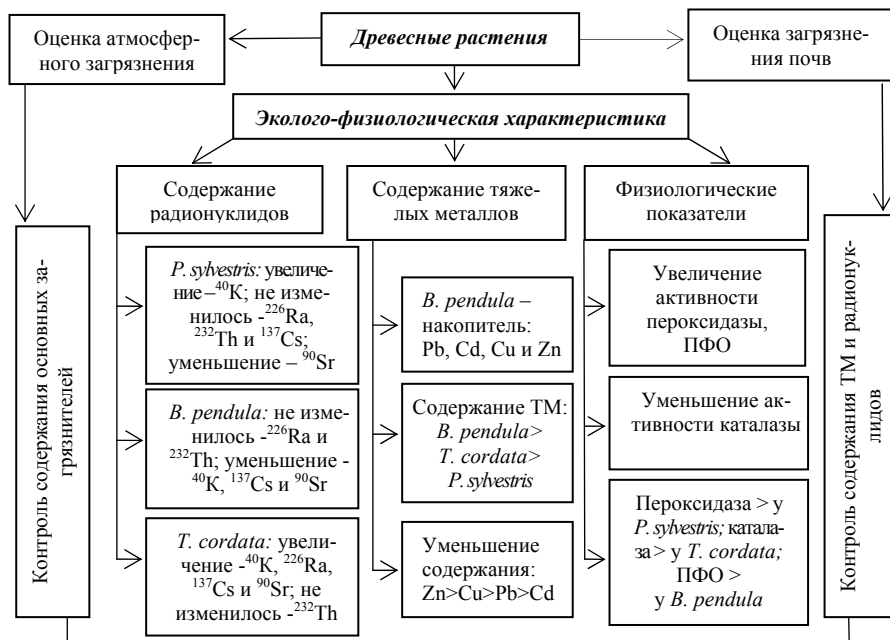


Рис. 10. Схема мониторинга загрязнения окружающей среды и состояния древесных растений (на примере г. Йошкар-Олы)

По интенсивности накопления природных радионуклидов (^{40}K , ^{226}Ra) ассимилирующими органами древесных растений (лесопарковая зона) можно построить следующий убывающий ряд: *B. pendula* > *P. sylvestris* > *T. cordata*.

В промышленном районе города содержание техногенного радионуклида ^{137}Cs в хвое *B. pendula* было выше на 20 %, а в листьях, побегах, корнях *T. cordata* – в среднем на 30 % по сравнению с растениями лесопарковой зоны ($p < 0,05$). У *B. pendula*, произраставшей в загрязненном районе г. Йошкар-Олы, отмечалось снижение содержания данного радионуклида по сравнению с другими районами исследований (в 1,5–2,0 раза). В условиях загрязнения городской среды содержание ^{90}Sr у *P. sylvestris* было ниже на 30 %, у *B. pendula* – ниже в 2,5 раза по сравнению с селитебным районом. При этом у *T. cordata* содержание стронция было на 40 % выше, чем у растений лесопарковой зоны.

Результаты работы показали, что природные и техногенные радионуклиды распределяются по органам древесных растений следующим образом: наибольшее их количество (30–50 %) обнаружено в листьях (хвое), а наименьшее – в корнях всех исследуемых видов.

Изучение накопления тяжелых металлов в листьях (хвое) древесных растений показало, что Pb, Cd, Cu и Zn концентрируются в большем количестве у древесных растений, произрастающих в промышленной зоне города (рис. 10). Так, картина накопления ТМ *B. pendula* в промышленной зоне по сравнению с особями лесопарковой зоны выглядела следующим образом: Pb содержалось больше на 75 %, Cd – на 20 %, Cu – на 60 % и Zn – на 15 %.

Видовая специфика древесных растений четко проявляется в поглощении ТМ. Так, *B. pendula* накапливает ТМ в несколько раз больше по сравнению с *P. sylvestris*: свинца – в 3,3; кадмия – в 2,0; цинка – в 1,7 и меди – в 2,5 раза. Следовательно, *B. pendula* является хорошим видом-накопителем тяжелых металлов в условиях городской среды, поэтому осенью листья *B. pendula* следует собирать и вывозить на полигоны ТБО.

По абсолютному содержанию тяжелых металлов в древесных растениях можно построить следующий убывающий ряд: Zn > Cu > Pb > Cd.

У различных видов древесных растений имеются специфические особенности работы ферментативных систем (рис. 10). Наиболее высокая активность пероксидазы была характерна для *P. sylvestris*, каталазы – для *T. cordata*, а полифенолоксидазы – для *B. pendula*. Под влиянием негативных воздействий среды (загрязнения атмосферы и почвы) у древесных растений происходит активирование пероксидазы (в 1,5–2,5 раза) и полифенолоксидазы (в 1,2–1,4 раза) и снижение активности каталазы (в 1,3–1,5 раза). Таким образом, в условиях загрязнения городской среды изменение функционирования антиоксидантных ферментов носит специфический характер для отдельных видов. При этом устойчивость древесных расте-

ний к антропогенным факторам определяется подключением большого числа метаболических реакций, компенсирующих снижение активности одного компонента антиоксидантной системы возрастанием активности другого.

ВЫВОДЫ

1. Содержание основных загрязнителей атмосферного воздуха (оксид углерода, диоксида азота и серы, взвешенные вещества) в различных функциональных зонах г. Йошкар-Олы не превышает ПДК; при этом комплексный индекс загрязнения атмосферы увеличился с 1,38 в 2008 году до 1,64 в 2009 году.

2. Основными загрязнителями почв г. Йошкар-Олы являются тяжелые металлы: свинец, кадмий, цинк и медь, при этом содержание меди и цинка в почвах города может существенно изменяться, локально превышая ПДК в несколько раз.

3. Техногенные радионуклиды имеют мозаичный характер распределения; повышенное содержание ^{137}Cs отмечается в почвах промышленной зоны г. Йошкар-Олы и НП «Марий Чодра». Наиболее высокое содержание природного радионуклида ^{40}K обнаружено в почвах промышленной зоны г. Йошкар-Олы, где его содержание по сравнению с лесопарковой зоной города превышает в 2 раза и в 5 раз – на территории ООПТ.

4. Природный радионуклид ^{40}K накапливается в значительном количестве у растений (*P. sylvestris* – в 3–5 раз, *T. cordata* – в 6–9 раз), произраставших в промышленной зоне г. Йошкар-Олы. Распределение радионуклидов (^{40}K , ^{226}Ra , ^{232}Th , ^{137}Cs и ^{90}Sr) по органам древесных растений происходит с различной интенсивностью: основными накопителями являются листья (хвоя), затем побеги и далее корни. По способности аккумулировать техногенные радионуклиды (^{137}Cs , ^{90}Sr) растения можно расположить в следующий убывающий ряд: *P. sylvestris* > *T. cordata* > *B. pendula*.

5. У древесных растений, произраставших в промышленной зоне г. Йошкар-Олы содержание ТМ выше, чем у растений других функциональных зон города; содержание тяжелых металлов в древесных растениях изменялось следующим образом: $\text{Zn} > \text{Cu} > \text{Pb} > \text{Cd}$. Характер распределения ТМ имеет видовую специфику, их содержание уменьшается в ряду: *B. pendula* > *T. cordata* > *P. sylvestris*.

6. Древесные растения (*P. sylvestris*, *T. cordata*, *B. pendula*) различаются по способности накапливать тяжелые металлы и радионуклиды. Так, особи *B. pendula*, произраставшие в промышленной зоне г. Йошкар-Олы, являются хорошими накопителями Pb, Cd, Zn и Cu, одновременно в ассимилирующих органах *B. pendula* снижено содержание радионуклидов (^{40}K , ^{137}Cs и ^{90}Sr); при этом высокой способностью аккумулировать техногенные радионуклиды (^{137}Cs , ^{90}Sr) обладает *P. sylvestris*.

7. Под влиянием негативных воздействий среды происходит активирование таких окислительно-восстановительных ферментов, как пероксидаза и полифенолоксидаза и снижение активности каталазы у всех изученных древесных растений, что говорит о большом разнообразии ферментативных систем растительных организмов, активно работающих в условиях загрязнения городской среды.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Статьи и издания, рекомендованные ВАК

1. *Воскресенский, В.С.* Изучение накопления радионуклидов в системе «почва – растение» в условиях антропогенного загрязнения / В.С. Воскресенский, О.Л. Воскресенская // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – Краснодар: Изд-во КубГАУ, 2008. – № 5 (14). – С. 125–128.

2. *Воскресенский, В.С.* Изучение содержания радионуклидов в почвах городских и природных территорий / В.С. Воскресенский // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия «Экология и безопасность жизнедеятельности». – М.: Изд-во РУДН, 2009. – № 1. – С. 69–74.

Список работ, опубликованных в международных, Всероссийских и региональных сборниках и материалах конференций

3. *Воскресенский, В.С.* Изучение содержания радионуклидов в заповеднике «Большая Кокшага» / В.С. Воскресенский, Г.Н. Новоселов // Материалы научно-практической конференции. – Йошкар-Ола, 2000. – С. 21–23.

4. *Воскресенский, В.С.* Содержание цезия-137 в березе пушистой и сосне обыкновенной / В.С. Воскресенский, О.Л. Воскресенская // Безопасность человека, общества, природы в условиях глобализации как феномен современной науки и практики. IX Вавиловские чтения: материалы Всероссийской междисциплинарной научной конференции. – Йошкар-Ола: МарГТУ, 2005. – С. 272–273.

5. *Воскресенский, В.С.* Изучение содержания радионуклидов в экосистемах республики Марий Эл / В.С. Воскресенский, О.Л. Воскресенская // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: сборник материалов II Всероссийской научной конференции. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2006. – С. 376.

6. *Воскресенский, В.С.* Содержание К-40 в древесной растительности в условиях городской среды / В.С. Воскресенский, Е.М. Васина // Биосистемы, организация поведение управление: материалы 60-ой научной студенческой конференции биологического факультета. – Нижний Новгород, 2007. – С. 15–16.

7. *Воскресенский, В.С.* Изучение радиоактивного загрязнения в Национальном парке «Марий Чодра» / В.С. Воскресенский // Принципы и способы сохранения биоразнообразия: сборник материалов III Всероссийской научной конференции. – Йошкар-Ола; Пушкино, 2008. – С. 238–239.

8. *Воскресенский, В.С.* Изучение содержания радионуклидов в сосне обыкновенной в условиях городской среды / В.С. Воскресенский // Современное состояние и пути развития популяционной биологии: материалы X Всероссийский популяционный семинар. – Ижевск, 2008. – С. 398–401.

9. *Воскресенская, О.Л.* Эколого-биологические особенности онтогенеза растений в урбанизированной среде / О.Л. Воскресенская, Е.В. Сарбаева, М.Г. Полов-

никова, В.С. Воскресенский // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. Мосоловские чтения: сборник материалов международной научно-практической конференции. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2009. – Вып. 11. – С. 380–383.

10. *Воскресенская, О.Л.* Проблемы урбэкологии и пути их решения в современных российских городах / О.Л. Воскресенская, Е.В. Сарбаева, В.С. Воскресенский // «Наука и инновации – 2010», пятая международная школа ISS «SI – 2010», пятый международный научный семинар «Фундаментальные исследования и инновации». – Йошкар-Ола, 2010. – С. 417–422.

11. Экологическое состояние г. Йошкар-Олы / Воскресенская О.Л., Сарбаева Е.В., Алябьшева Е.А., Копылова Т.И., Соловьева О.С., Смирнова Н.А., Воскресенский В.С., Бердникова О.А. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2011. [электронный ресурс] <http://new.marsu.ru/GeneralInformation/structur/HelpUnits/libr/resours/yoshkar-ola/index.html>.

12. Особенности накопления и распределения радиоактивного калия хвойными растениями в условиях городской среды / О.Л. Воскресенская, Е.В. Сарбаева, В.С. Воскресенский, Р.В. Смирнов // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. Мосоловские чтения: сборник материалов международной научно-практической конференции. – Йошкар-Ола: МарГУ, 2011. – Вып. 13. – С. 274–276.

Подписано в печать 02.02.2011 г.
Формат 60×84/16. Усл. печ. л. 2,1. Тираж 120 экз. Заказ №

Отпечатано с готового оригинал-макета

ООО «Стринг»
424002, г. Йошкар-Ола, ул. Эшпая, 156-а.