

БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 504.61+574.21:574.24

**ЛОЗИНСКАЯ  
ОЛЬГА ВЛАДИСЛАВОВНА**

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЫ ПО СТРЕСС-РЕАКЦИИ У РАСТЕНИЙ-БИОИНДИКАТОРОВ**

Автореферат диссертации на соискание ученой степени  
кандидата биологических наук

по специальности 03.02.08 – экология

Минск, 2019

Научная работа выполнена в учреждении образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» БГУ

Научный руководитель –

**Мельнов Сергей Борисович**

доктор биологических наук, профессор,  
профессор кафедры экологической медицины  
и радиобиологии  
УО «Международный государственный  
экологический институт имени А.Д. Сахарова»  
Белорусского государственного университета

Официальные оппоненты:

**Дмитриева Софья Александровна**

доктор биологических наук,  
главный научный сотрудник  
ГНУ «Институт экспериментальной  
ботаники им. В.Ф. Купревича»

**Белый Павел Николаевич**

кандидат биологических наук,  
ученый секретарь ГНУ «Центральный  
ботанический сад НАН Беларуси»

Оппонирующая организация –

Учреждение образования  
«Полесский государственный университет»

Защита состоится «05» ноября 2019 года в 11.00 на заседании совета по защите диссертаций Д 02.01.22 при Белорусском государственном университете по адресу: 220030, г. Минск, ул. Ленинградская, 8, юридический факультет, ауд. 407. Телефон ученого секретаря: +375 17 209 55 58 e-mail: [nlysukha@mail.ru](mailto:nlysukha@mail.ru)

С диссертацией можно ознакомиться в фундаментальной библиотеке Белорусского государственного университета.

Автореферат разослан « 4 » октября 2019г.

Ученый секретарь  
совета по защите диссертаций,  
кандидат технических наук

Н.А. Лысухо

## ВВЕДЕНИЕ

Получение объективной картины экологического статуса территорий в условиях комбинированного воздействия многих факторов (природных и антропогенных) основано на использовании интегрированных методов выявления и идентификации загрязнений, в том числе и мутагенными веществами. Традиционно применяемые физико-химические методы дополнены достаточно чувствительным, относительно доступным и экономичным методом биоиндикации, что и обусловило использование последнего для оценки условий среды (Ляшенко, 2012). Особая роль отводится биомониторингу, поиску пригодных биоиндикаторов, в частности фитоиндикаторов, позволяющих достоверно оценивать состояние среды и степень давления различных антропогенных факторов, важнейшим из которых являются тяжелые металлы.

Одним из перспективных направлений для интегральной оценки качества среды является использование показателей состояния живых организмов, характеризующие стабильность их развития или отклонение от нормы. Такими показателями являются уровень флуктуирующей асимметрии морфологических структур у березы повислой (*Betula pendula* Roth.), фенотипические у клевера ползучего (*Trifolium repens* L.) и цитогенетические у лука репчатого (*Allium cepa* L.), являющиеся наиболее информативными маркерами.

Широкое распространение березы повислой и свойственная ей поверхностная корневая система, максимально сопряженная с химическим составом почв; повсеместное присутствие популяций клевера ползучего, испытывающих в условиях урбоценозов рекреационное влияние; возможность культивирования лука репчатого в лабораторных условиях, а также наличие стресс-реакций на изменяющиеся условия среды у этих растений определили их широкое применение в качестве фитоиндикаторов (Zorin, 2007; Шарыгина, 2010; Geraskin, 2011). Исследования по данной проблеме ведутся в России (Захаров, 2007); Финляндии (Козлов, 2011); Украине (Скробала, 2016); Литве (Augustaitis, 2007) и Польше (Sawicka, 2007). Поскольку в Беларуси подобные работы были фрагментарны, а планомерные исследования отсутствовали, – это явилось основанием для выбора направления, методологии и объектов исследования.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Связь работы с крупными научными программами и темами.** Диссертационная работа выполнялась на базе Учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета на кафедре экологической и молекулярной генетики 2008 года и в рамках проекта БРФФИ: «Оценка антропогенного давления и эндоэкологического статуса естественных популяций

*Betula pendula*, произрастающей на урбанизированных территориях» (№ госрег. 20115192).

Диссертация соответствует приоритетному направлению фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2016–2020 годы «Природопользование и экология», утвержденных Постановлением Совета Министров Республики Беларусь № 150 от 12 марта 2015 года.

**Цель и задачи исследования.** Цель данного исследования – оценить влияние элементного состава почв, в частности, накопление солей тяжелых металлов на морфофенетические и цитогенетические показатели стресс-реакций у растений-фитоиндикаторов, отражающих выраженность антропогенного давления на экосистемы урбанизированных территорий.

*Задачи исследования:*

1. Выявить качественный и количественный элементный состав почв естественных и антропогенно измененных территорий.

2. Определить характер флуктуирующей асимметрии листовой пластинки популяций березы повислой и выявить вариации «седого пятна» листьев клевера ползучего, произрастающих в условиях с различным уровнем загрязнения тяжелыми металлами.

3. Установить степень воздействия элементного состава почв на цитогенетические показатели клеток меристемы корня лука репчатого, выращенного на вытяжках почв в условиях однофакторного воздействия.

4. Выявить закономерность изменения биоиндикационных показателей модельных объектов от накопления солей тяжелых металлов в их вегетативных органах и почвах, а также провести сравнительный анализ ответных реакций на загрязнение среды тяжелыми металлами в условиях комплексного воздействия на организм как *in vivo*, так и *in vitro*.

*Объекты исследования:* Образцы почв исследуемых территорий и биологический материал растений разных систематических групп: береза повислая (*Betula pendula*), клевер ползучий (*Trifolium repens*), лук репчатый (*Allium cepa*).

*Предмет исследования* – особенности накопления и характер элементного состава почв; морфологических показателей (флуктуирующая асимметрия (ФА) у *B. pendula*); фенетический полиморфизм (по признаку «седого пятна» листовых пластинок у *T. repens*) и цитогенетические показатели (особенности митоза и спектр хромосомных aberrаций клеток корневой меристемы *A. cepa*).

**Научная новизна.** Впервые в Беларуси дана комплексная оценка влияния элементного состава почв на формирование стресс-реакций у различных растений-фитоиндикаторов в условиях разнотипного антропогенного воздействия на экосистемы.

Выявлена модифицирующая роль элементного состава почв у *T. repens*, *B. pendula*, распространенных в условиях разнофакторной антропогенной нагрузки, и у *A. cepa* – в экспериментальных условиях однофакторного влияния.

Получены морфофенетические и цитогенетические показатели стресс-реакций растений разных систематических групп, позволившие выделить три кластера состояния исследованных территорий.

Впервые установлено наличие формирования стресс-реакций в виде морфофенетических и цитогенетических признаков модельных видов в зависимости от особенностей элементного состава почв и их накопления в вегетативных органах одного из модельных объектов.

Проведено ранжирование трансформированных и естественных территорий по разнообразию отклонений от нормального развития модельных видов, вызванному характером элементного состава почв в условиях промышленного и радиационного загрязнения.

#### **Основные положения работы, выносимые на защиту:**

1. Изменение коэффициента флуктуирующей асимметрии (КФА) в значительной степени определяется микроэлементным составом почв, а также зависит от уровня аккумуляции тяжелых металлов в вегетативных частях растительных объектов. Вариабельность значений КФА вызвана соотношением и концентрацией, а также сочетанным действием компонентного состава почв, отражающего степень экологического благополучия среды. Значения интегрального показателя флуктуирующей асимметрии практически идентичны для популяций берез, произрастающих на урбанизированных (0,049–0,060) и антропогенно нарушенных (0,047–0,059) территориях, что соответствует III–V классу чистоты, а на заповедной территории – преимущественно I–II и только в отдельных случаях – III классу чистоты.

2. Феногенетические параметры клевера ползучего *Trifolium repens* определяются как микроэлементным составом почв, так и особенностями индивидуальных ответных реакций на стрессовые факторы. Популяции клевера ползучего, постоянно обновляющиеся на урбанизированных территориях, характеризуются высокой гетерогенностью, где максимальное количество фенотипов – 24; возрастные популяции, произрастающие на заповедной территории, обладают большей морфогенетической однородностью и наименьшим разнообразием фенотипов – 11. Показатель индекса соотношения фенов для антропогенно нарушенных территорий составляет II–IV, а естественных – I–II классы чистоты.

3. Цитогенетические особенности клеток корневой меристемы *Allium cepa*, выявленные в условиях лабораторного эксперимента в зависимости от заданного фактора (солей тяжелых металлов), свидетельствуют о высокой чувствительности

Allium-теста в качестве индикатора цитогенетического эффекта почв. Цитогенетические параметры, такие как суммарная частота aberrаций, для территории Березинского заповедника составили от 10 до 12% при  $p < 0,05$ ; на урбанизированных территориях – от 23 до 33% при  $p < 0,05$ ; с радиационным загрязнением от 22 до 28% при  $p < 0,05$ , что значительно выше (в 2–2,5 раза) по сравнению с эталоном.

4. Уровень взаимосвязи между ответными реакциями биоиндикаторов и характеристиками элементного состава почв свидетельствует о выраженном влиянии антропогенного фактора на морфогенетический статус исследуемых объектов. Так, уровень коэффициента флуктуирующей асимметрии (КФА) зависит от концентрации соединений ряда тяжелых металлов: Mn ( $R^2 = 0,30$ ), Zn ( $R^2 = 0,20$ ), Pb ( $R^2 = 0,19$ ) и Fe ( $R^2 = 0,15$ ). Наибольшее влияние на соотношение фенов (ИСФ) оказывают Mn ( $R^2 = 0,19$ ), Fe ( $R^2 = 0,29$ ) и Zn ( $R^2 = 0,29$ ). Патологические особенности цитогенетического статуса чаще всего зависят от определенного сочетания и концентрации элементов – Fe ( $R^2 = 0,33$ ), Cu ( $R^2 = 0,34$ ), Ni ( $R^2 = 0,34$ ) и Zn ( $R^2 = 0,36$ ) при  $p < 0,05$  для всех случаев.

**Личный вклад соискателя ученой степени.** Соискателем осуществлен сбор и подготовка к лабораторным исследованиям большей части материала. По результатам полевых и лабораторных исследований проведен анализ выявленных отклонений морфологических и цитогенетических структур на основании статистической обработки и графического представления полученных данных, что нашло отражение в публикациях, в том числе и коллективных. Тема предложена научным руководителем, выбор цели и постановка задач осуществлены совместно, выводы и заключение обсуждены и одобрены руководителем.

Автор выражает благодарность Т.П. Сергеевой – за консультативную помощь и участие в полевых работах на территории Березинского заповедника; выпускникам МГЭИ им. А.Д. Сахарова БГУ В.Н. Кипеню, Н.С. Смольник, Е.А. Синевич, Е.В. Исаченко за помощь в сборе и подготовке материала для дальнейшего анализа; Д.Ю. Шпекторову, И.Г. Шевмеру – за создание программного обеспечения для морфологического анализа «Pendula»; научному сотруднику А.О. Лукашуку – за организацию рабочих условий в Березинском биосферном заповеднике.

**Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов.** Основные результаты диссертационной работы были представлены на конференциях: International scientific conference «forestry in achieving millennium goals» held of the 50th anniversary of foundation of institute of lowland forestry and environment» (Novi Sad, Serbia. 2008); International workshop environmental forensics (Тбилиси, Грузия, 2011); 10<sup>th</sup> International lowrad conference «The effects of low doses and very low doses of ionizing radiation on human health and biotopes (Kyiv, Ukraine, 2011); Современное состояние и перспективы развития особо охраняемых

природных территорий Республики Беларусь, (п. Домжерицы, Беларусь 2012); 6-м Молодежном экологическом конгрессе «Северная Пальмира», (Санкт-Петербург, Россия, 2014); Международной научной конференций молодых ученых и студентов «Перспективы развития биологии, медицины и фармации», (Шымкент, Казахстан, 2014); Международных научных конференциях «Сахаровские чтения: Экологические проблемы XXI века» (Минск, Беларусь, 2009–2017 гг.).

**Опубликованность результатов диссертации.** По теме диссертации опубликована 31 работа: в том числе 6 статей в рецензируемых научных журналах, включенных в перечень ВАК (объем 5,3 авторских листа); 8 статей в сборниках материалов конференций и 16 тезисов; а также учебно-методическое пособие – 1. Общий объем публикаций составляет 13,6 авторских листа.

**Структура и объем диссертации.** Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, 6 глав, заключения, библиографического списка и приложений. Общий объем диссертации составляет 195 страниц и включает: 23 таблицы и 66 рисунков – на 37 страницах, библиографический список из 238 использованных источников и 31 публикации соискателя на 25 страницах, приложения – на 37 страницах.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Материалы и методы исследования.** Исследования проводились в урбоценозах: гг. Минск, Гомель, Хойники; на территории, подвергшейся радиационному загрязнению – зона отчуждения ПГРЭЗ, а также на территории, служащей контролем – Березинский биосферный заповедник.

Сбор материала проводился в июне–августе 2008–2012 гг. Собрано и проанализировано всего 74 250 образцов листовых пластинок березы и 75 200 клевера: 42 000 и 44 800 соответственно – в г. Минск; 11 250 и 12 000 – в г. Гомель; 8 250 и 8 800 – г. Хойники; 3 750 и 4 000 – зоне отчуждения ПГРЭЗ; 9 000 и 9 600 – Березинском заповеднике. Отобрано 495 образцов почв. Количественное содержание Cd, Hg, Cr, Pb, Zn, Mn, Fe, Ba, Ni и Cu в почве и растительном материале (*B. pendula*) определялось методом рентгенофлуоресцентного анализа (спектрометр «СЕР-01» (ElvaX)) с оригинальным программным обеспечением Elvatech MCA Software.

Основные морфологические параметры (длина жилки первого порядка, угол между жилками и ширина правой/левой сторон листа) определялись с использованием оригинальной программы «Pendula». Для определения уровня загрязнения среды по интегральному показателю величины ФА листа березы повислой применялась балльная шкала (Захаров, 2000).

Наличие фенотипов *T. repens* из различающихся экологических условий устанавливали по таблице Брюейкера, содержащей 36 вариантов аллелей гена V. Устанавливали среднее число морф (μ) и долю редких фенотипов – h. Индекс соотношения фенов (ИСФ) рассчитывали в процентах.

Цитогенетический анализ в клетках апикальной меристемы *A. сера* (1000 кл./образец) проводился с использованием микроскопа Nikon Eclipse 50-i, видеокамеры Nikon DS-Fi1 и компьютера с программным обеспечением. Митомодифицирующее действие почв определяли по показателям митотического индекса (МИ, %), а мутагенное – ана-телофазным методом по частоте хромосомных aberrаций (ЧА) и отставаний хромосом.

**Статистическая обработка** данных проводилась с использованием SPSS 20.0 и PAST 3.17. Количественные данные обрабатывались методами вариационной статистики. Для каждого количественного параметра были определены среднее значение (М), стандартное отклонение. Для сравнения количественных данных после проверки на гомоскедастичность (тест Левена) и нормальность распределения (критерий согласия Колмогорова) использовали метод дисперсионного анализа ANOVA. В случае количества сравниваемых переменных более 2 использовали точный критерий Фишера и метод Монте-Карло. На основании результатов по КФА, ИСФ, ЧА и МИ за период 2008–2012 гг. была проведена процедура классификации с использованием методов кластерного анализа и многомерного шкалирования. На основании рассчитанных матриц близости построены деревья кластеризации методом UPGMA (бутстреп 1000) и графики РСА (главных компонент). Для оценки взаимосвязей между КФА, ИСФ, ЧА, МИ и микроэлементным составом были выполнены корреляционный (метод Спирмена), регрессионный и MDR (метод многофакторного сокращения размерности) анализ.

## **Результаты собственных исследований**

### **Особенности химического состава почв естественных и антропогенно измененных территорий**

В результате проведенных исследований получены данные о содержании солей тяжелых металлов в почвах изучаемых территорий. Отмечено, что повсеместно концентрация ртути превышала норму (пределы 0,03–0,3 мкг/г), но в отдельные годы в некоторых точках наблюдалось как превышение верхних значений нормы, так и понижение содержания этого металла в почве. Так, для г. Хойники в 2008 г. концентрация ртути в пробах почвы составляла 4,3 мкг/г, по г. Минску (за исключением 2008 г.), значения содержания ртути достигли 9,5 мкг/г (2-я детская больница); в г. Гомеле (АЗС «Белнефтехим») и зоне отчуждения (д. Дроньки) в 2011 г. – до 25,6 мкг/г. Концентрация кадмия – наиболее мутагенного элемента – превышала ПДК почти на порядок (при норме до 0,7 мкг/г) на всех обследованных территориях и даже более – в местах радиационного загрязнения. Для других элементов, относительно нормы, отмечалось как повышенное, так и пониженное его содержание. Для территории г. Минска в 2008 г. показан дисбаланс таких элементов как барий – 25,8 мкг/г при норме 430 мкг/г и медь при норме 30 мкг/г в некоторых



точках превышала этот показатель, тогда как в других была значительно ниже. Также показано заметное снижение концентрации никеля (0,3 мкг/г при норме от 5 мкг/г) и железа (44,7 мкг/г при норме от 7000 мкг/г) за весь период исследования на всех территориях. Содержание цинка во всех местах исследования находилось в пределах нормы, за исключением отдельных точек Березинского заповедника, где в 2011–2012 гг. в окрестностях метеостанции и д. Кветче его концентрация составила 1,1 мкг/г и 4,8 мкг/г, соответственно, и в зоне отчуждения ЧАЭС (д. Масаны) – в 2011–2012 гг. – 1,5–1,8 мкг/г при норме от 10 мкг/г.

### **Морфометрические параметры листовой пластинки *Betula pendula* и зависимость их от микроэлементного состава мест ее произрастания**

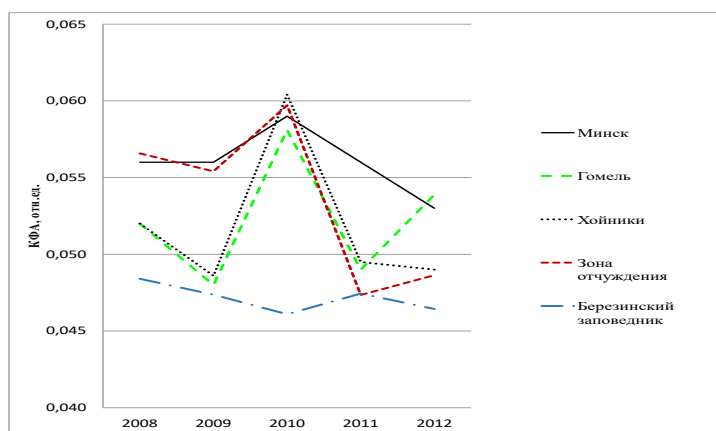
Влияние элементного состава почв на основные морфологические показатели отражено в значениях КФА. Выявлено, что на территории г. Минска значения КФА листовой пластинки в разных точках произрастания варьировали в довольно широком диапазоне (0,043–0,071), что соответствует II–V классу чистоты (по шкале Захарова). Средние значения этого показателя в 2008, 2009, 2011 гг. составили 0,056, в 2012 г. – 0,053, а в 2010 г. отмечался пик значений – 0,059, что соответствовало V классу чистоты за весь период.

Результаты статистической обработки данных по г. Гомелю показывают ситуацию, сходную с г. Минском. Так, значения КФА для всех точек города за весь период исследования находились в широком интервале – 0,042–0,066 (II–V класс чистоты). Аналогичная картина наблюдается также для этого модельного вида и на территории г. Хойники, где диапазон показателей КФА за исследуемый период находился в пределах III–V класса чистоты, что следует из его значений (0,048–0,060) и по изменениям морфологических признаков отражает состояние условий среды.

Радиационное загрязнение, являющееся важным антропогенным фактором во всех пунктах зоны отчуждения (станция дезактивации, дд. Дроньки, Бабчин, Красноселье и Масаны), превышало норму в 5–15 раз, в результате чего значения КФА за весь период исследований были высокими (0,047–0,059) и соответствовали III–V классу в 2010 г. и 2011 г.

Для березы повислой Березинского заповедника, являющегося эталоном, в течение всего периода исследований коэффициенты ФА удерживались в узком диапазоне – 0,046–0,049, и не имели статистически значимых различий, что характеризует эту территорию как достаточно стабильную в экологическом плане. В данном случае значения КФА обусловлены как дисбалансом элементного состава, так и абиотическими (температура, роза ветров), биотическими (насекомые-вредители) и антропогенными факторами (близость автотрассы Минск–Витебск, туристические потоки, вольеры и лесопилка).

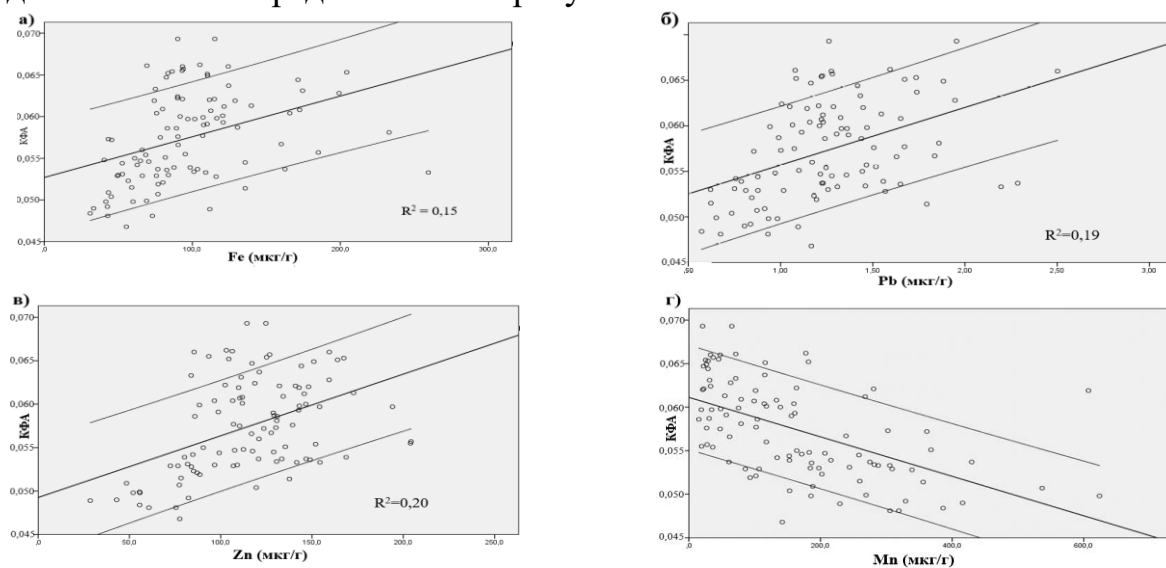
Пик показателя КФА урбанизированных территорий за 2010 г., как следствие значительных отклонений от оптимума летних температур в период вегетации в предшествующем году, представлен на рисунке 1.



**Рисунок 1. – Средние значения КФА березы повислой на изучаемых территориях за исследуемый период**

Пики и спады значений КФА демонстрируют отклонения от нормального развития, что соответствует представлениям о бифазности отклика растительных организмов (Дмитриева, 2011). Максимальные значения КФА обусловлены действием химических элементов в сочетании с абиотическими и биотическими факторами, минимальные – объясняются возможностями адаптивных механизмов.

Как показал корреляционный анализ параметров морфологических нарушений в виде флуктуирующей асимметрии листовых пластинок *B. pendula*, элементный дисбаланс концентраций создает условия, способствующие отклонениям от нормального развития березы. Результаты корреляционного анализа для всех 99 обследованных точек представлены на рисунке 2.



**Рисунок 2. – Корреляционный анализ содержания ТМ в листьях *Betula pendula* и значений КФА): а) железо, б) свинец, в) цинк, г) марганец**

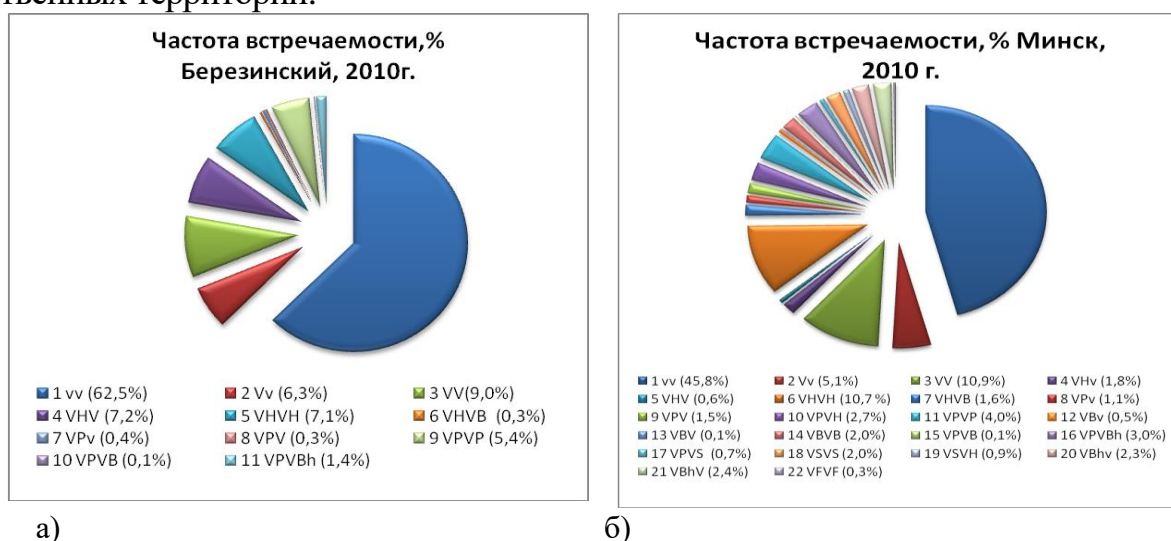
В результате статистической обработки данных выявлена достоверная корреляция между КФА и железом ( $R^2 = 0,15$ ), цинком ( $R^2 = 0,20$ ), свинцом ( $R^2 = 0,19$ ) и марганцем ( $R^2 = -0,30$ ) (при  $p < 0,0026$  с поправкой Бонферрони).

В силу того, что загрязнение носит комплексный характер, был применен MDR-анализ, который позволил выявить эффект сочетанного действия поллютантов на степень флуктуирующей асимметрии листовой пластинки, что наиболее отчетливо проявляется в паре кадмий-ртуть.

Установлено, что вариации сочетания определенным образом солей тяжелых металлов неоднозначно влияют на показатели развития модельных видов: так, в одних случаях приводят к серьезным нарушениям, а в других – не обнаруживают заметного эффекта.

### Наследственный полиморфизм по признаку «седого пятна» листьев в популяциях *Trifolium repens*

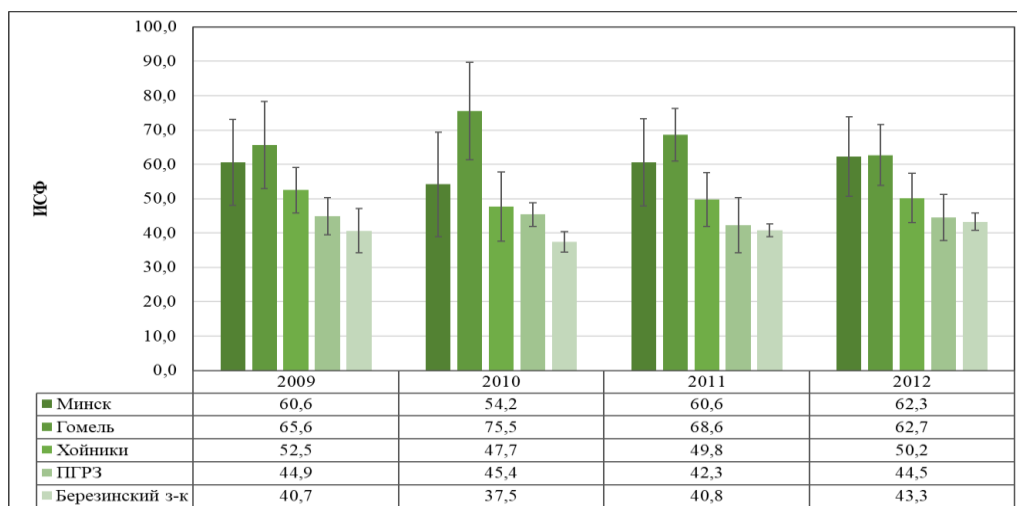
Особенности наследственного полиморфизма в качестве индикатора варибельности форм и размеров рисунка «седого пятна» листовой пластинки клевера проявились в соотношении фенотипов и изменчивости морфологических признаков. Это нашло отражение в увеличении частоты встречаемости редких фенотипов у молодых популяций клевера, свойственных урбанизированным территориям (гг. Минск и Гомель), что позволяет отнести их к формирующимся с присущим им широким спектром фенотипов. Для природных же популяций клевера, являющихся наиболее возрастными, характерен узкий спектр фенотипов с минимальным количеством редких. Графическое изображение полученных результатов представлено на рисунке 3 (а, б), где на примере 2010 г. показана частота встречаемости фенов, отражающая характерную картину для урбанизированных и естественных территорий.



**Рисунок 3. – Частота встречаемости фенотипов в популяциях *Trifolium repens***  
**а) Березинский заповедник, б) г. Минск**

Так, наибольшее разнообразие рисунка «седого пятна» листовой пластинки свойственно для популяций клевера г. Минска (22), а наименьшее – для Березинского заповедника (11). Доля неизмененных фенотипов (vv) составила на территории городов Минск и Гомель – 46 % и 27 %, соответственно, а Березинского заповедника – 62,5 %. Наблюдаются также различия по частоте встречаемости отдельных фенов в зависимости от условий произрастания. Для популяций в неблагоприятных условиях зарегистрировано увеличение частоты встречаемости некоторых фенотипов:  $V^Hv$  – 10,9 %;  $V^H V^H$  – 10,7 %;  $Vv$  – 5 %;  $V^P V^P$  – 4 %, а также редких (менее 2 %), которых для городов Минск и Гомель выявлено 12 и 8, соответственно. Наличие аномальных экземпляров с четырьмя листовыми пластинками (0,1 %) является сигналом о неблагополучии экологической среды.

На территории г. Хойники отмечено 14 фенотипов, из них к редким относятся 7. Зона отчуждения не отличалась высоким разнообразием фенотипов, по этому показателю приближалась и была даже несколько ниже территории Березинского заповедника. Результаты статистического анализа ИСФ представлены на рисунке 4.



**Рисунок 4. – Значения ИСФ популяций *Trifolium repens*, изучаемых территорий**

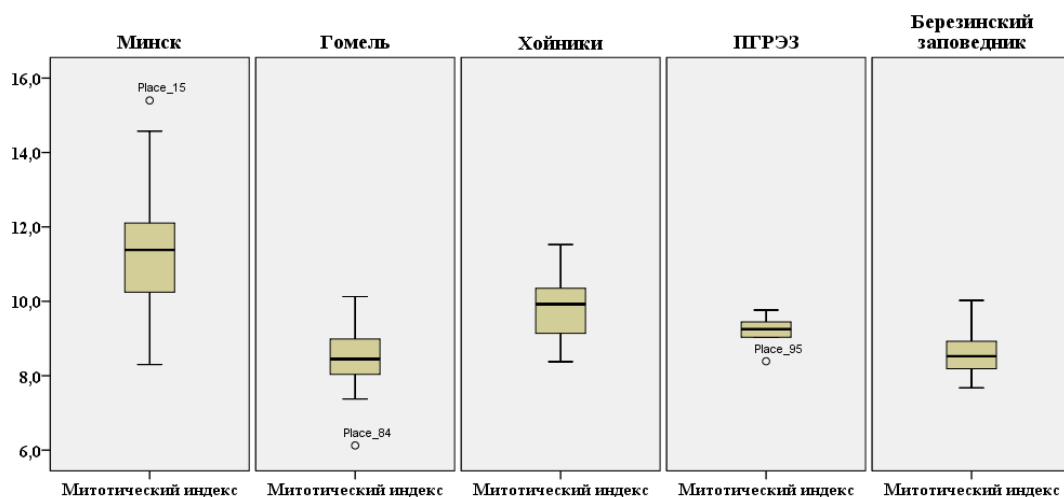
Высокие значения ИСФ для городов Минск и Гомель по методике Ашихминой (2006 г.) позволяют отнести эти территории к III классу чистоты, что характеризует довольно высокую степень их загрязненности. Сравнительный анализ показателя ИСФ урбанизированных территорий и Березинского заповедника выявил статистически значимые различия ( $p < 0,01$ ) между ними.

Влияние различных антропогенных факторов среды, в том числе и солей тяжелых металлов в почве, свойственные урбанизированным территориям, проявляется в разнообразии фенотипов. В случае отклонения от нормы климатических и биотических факторов зачастую наблюдается действие, равнозначное сильному антропогенному влиянию, в том числе и радиационному.

Таким образом, повышение частоты встречаемости редких генотипов в популяциях клевера ползучего в урбоценозах отражает экологически неблагоприятные условия, а бóльшая морфогенетическая однородность свидетельствует о стабильности биотопов.

### Оценка естественных и антропогенных территорий по цитогенетическим показателям *Allium cepa*

По результатам цитогенетического анализа рассчитан митотический индекс (МИ) клеток апикальной меристемы *A. cepa* на стадии ана-телофазы образцов, выращенных на вытяжках почв всех исследованных территорий. Результаты статистического анализа усредненных значений МИ за пятилетний период представлены на рисунке 5.

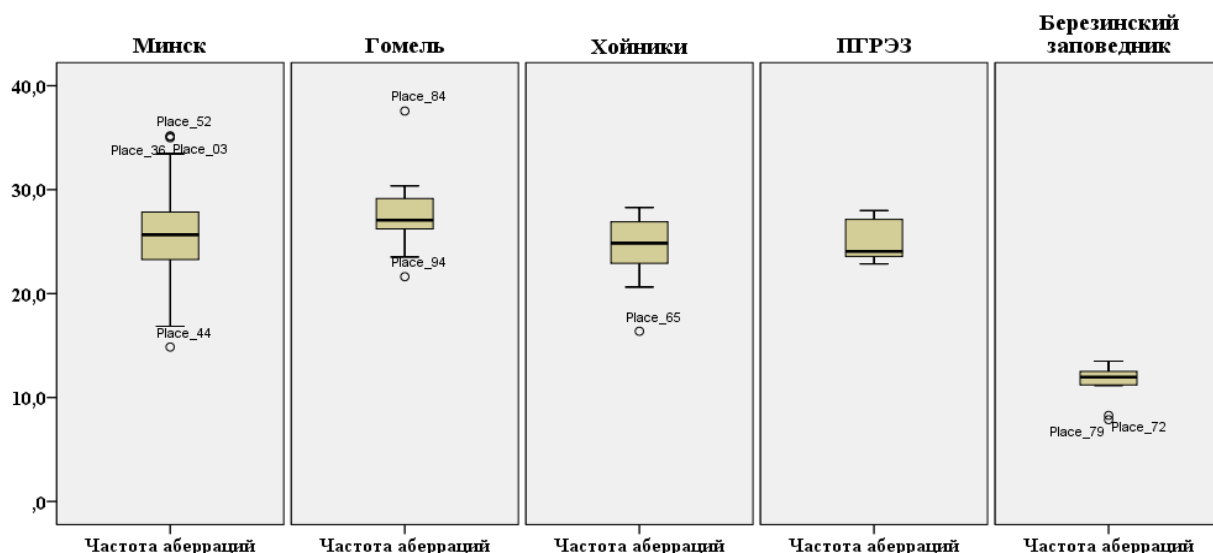


**Рисунок 5. – Значения митотического индекса клеток корневой меристемы *Allium cepa***

Установлено, что митотический индекс, отражающий активность митоза в клетках корневой меристемы лука, выращенного на образцах почв Березинского заповедника 2009–2010 гг., статистически достоверно ( $p < 0,05$ ) ниже по сравнению с г. Минском (9,0 % и 12,3 %, соответственно). Для почв заповедника наравне с постоянным дефицитом железа (4568,2 мкг/г, что в 1,5 раза ниже нормы), отмечен также дефицит содержания никеля и цинка (2,5 мкг/г и 6,03 мкг/г) и, наоборот, повышенное содержание ртути (1,5 мкг/г).

Показания митотического индекса, полученные в процессе выполнения работы, свидетельствуют об изменении скорости клеточного деления и процессов в репарации (Рисунок 5) и увеличении патологий митоза (Рисунок 6).

Суммарная частота аберраций на стадии ана-телофазы в клетках апикальной меристемы лука, пророщенных на образцах почв изучаемых территорий, представлена на рисунке 6.



**Рисунок 6. – Суммарная частота aberrаций в клетках корневой меристемы *Allium cepa***

Для образцов корневой меристемы лука, различающихся антропогенным прессингом, характерен достаточно широкий диапазон значений частоты aberrаций. Так, для г. Минска он составляет от 15 до 35 %, г. Гомеле – от 22 до 38 %, зоны отчуждения от 23 до 28 %, и г. Хойники – от 16 до 28 %. Высокий процент aberrаций, отмеченный в отдельных точках г. Хойники, объясняется пониженным содержанием меди, что подтверждается высокой обратной корреляционной зависимостью между этими показателями  $R^2 = -0,39$  ( $p < 0,05$ ).

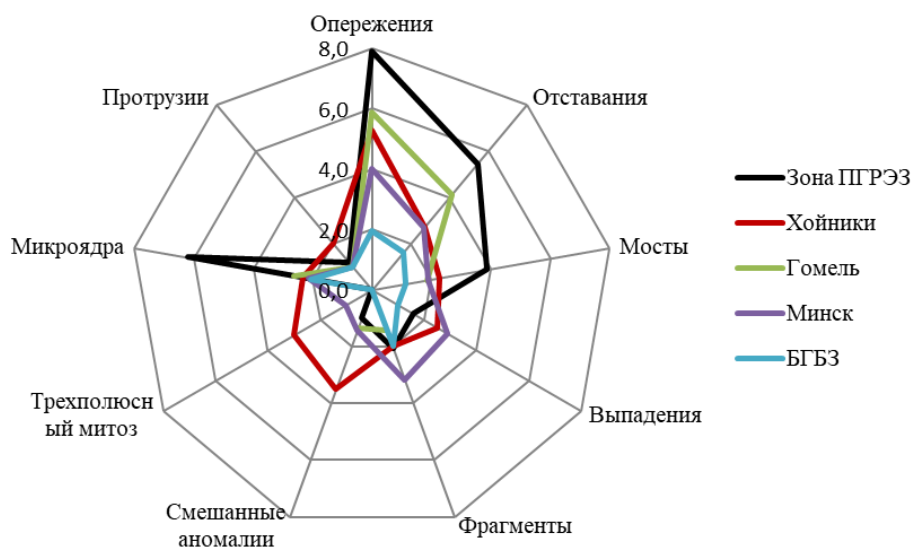
Низкая частота aberrаций в клетках корневой меристемы *A. cepa*, пророщенных на образцах почв Березинского заповедника, объясняется тем, что дисбаланс элементного состава, вызванный дефицитом содержания отдельных элементов: железа (44 мкг/г), никеля (0,6 мкг/г) и меди (3,6 мкг/г), нивелируется репарационными процессами в клетках, о чем свидетельствует низкий митотический индекс.

Наибольшее количество aberrаций (29) корневой меристемы лука отмечено для зоны отчуждения, 11–13 – для крупных промышленных центров и г. Хойники, а наименьшее (5) для Березинского заповедника.

Установлено наличие статистически значимых отличий (при  $p < 0,05$ ) по количеству aberrаций (отставания, опережения хромосом, микроядра) между биосферным заповедником и гг. Минск, Гомель, Хойники, а также зоной отчуждения (2009–2012 гг.).

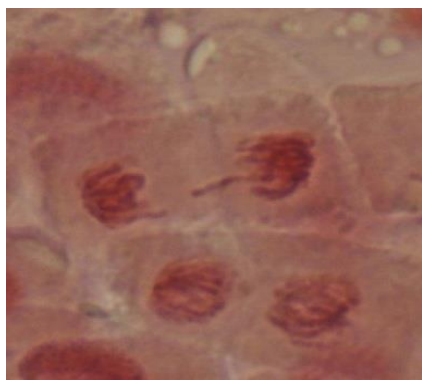
Широкий спектр цитогенетических аномалий, представленный на рисунке 7, наблюдаемый в клетках корневой меристемы *A. cepa* на стадиях ана-телофазы клеточного цикла, отражает комбинирование действие химического состава почв с учетом его особенностей.



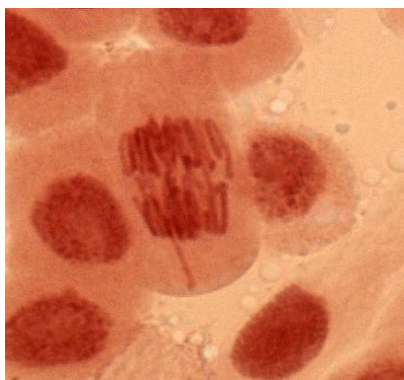


**Рисунок 7. – Хромосомные патологии (средние значения за весь период исследования) в клетках корневой меристемы *Allium cepa* на всех изучаемых территориях**

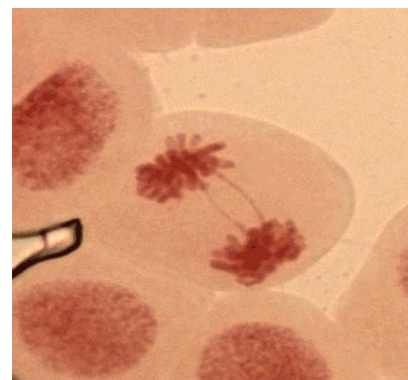
Цитогенетические нарушения, представленные на рисунке 8, проявляются чаще всего в виде отставаний и опережений хромосом, а также наличием одинарных, двойных, реже тройных мостов и микроядер.



отставания



опережения



двойные мосты

**Рисунок 8. – Микрофотография. Аберрации, наблюдаемые в корневой меристеме *Allium cepa*. (Увеличение  $\times 1000$ , краситель кармин)**

Существенный дисбаланс элементного состава в почвах гг. Минск и Гомель (концентрация железа (12,7 мкг/г), цинка (8,4 мкг/г), хрома (0,3 мкг/г), меди (1,5 мкг/г) и никеля (0,3 мкг/г) была ниже нормы, а кадмия (9,4 мкг/г) и ртути (1,7 мкг/г) – значительно выше ПДК), обусловил достаточно высокое разнообразие аберраций в клетках *Allium cepa*.

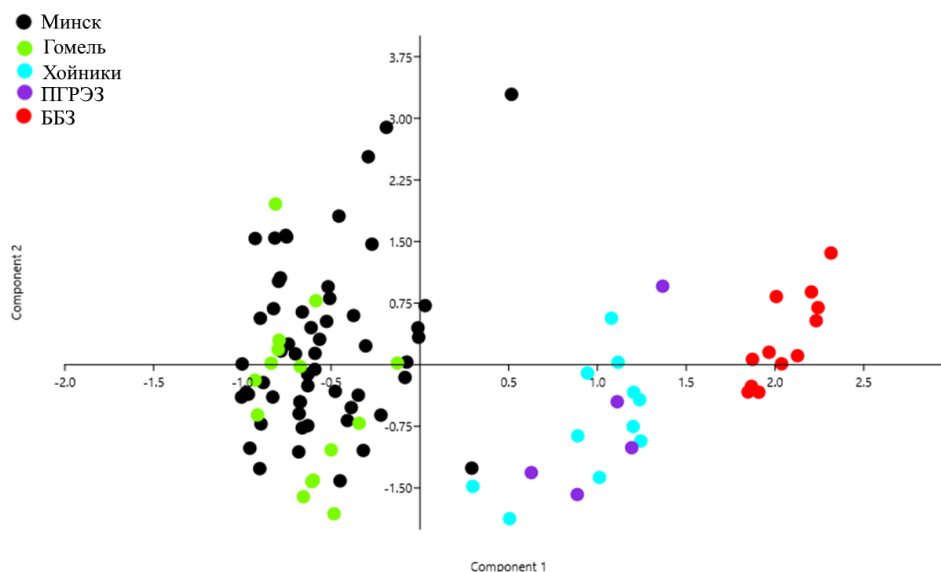
Сопряженность цитогенетических показателей с концентрацией некоторых элементов выявлена на основе корреляционного анализа. Так, прямая корреляция ( $p < 0,0026$  (с поправкой Бонферрони)) показана для меди  $R^2 = 0,34$ ; железа  $R^2 = 0,33$ ; никеля  $R^2 = 0,34$  и цинка  $R^2 = 0,36$ .

Применение MDR-анализа позволило выявить корреляцию сочетанного действия поллютантов и патологий митоза клеток корневой меристемы *A. сера*. Так, митотический индекс показывает сочетанное влияние пары кадмий-кобальт и хром-ртуть ( $p < 0,05$ ), а частота aberrаций определяется, преимущественно, парой медь-свинец.

### Ранжирование территорий на основе кластерного анализа и многомерного шкалирования

Из представленного выше следует, что влияние элементного состава почв в условиях многофакторного антропогенного воздействия и однофакторного – в условиях лабораторного эксперимента проявилось в отклонениях от нормы морфо-фенетических и цитогенетических показателей у модельных видов.

По данным пятилетнего исследования были рассчитаны матрицы близостей, реализованные в виде двумерного графика главных компонент, отражающего единообразие ответных реакций трех видов-фитоиндикаторов различной систематической принадлежности (Рисунок 9). Этот подход положен в основу объективной оценки экологического состояния изучаемых территорий по биоиндикационным показателям трех модельных видов.



**Рисунок 9. – График РСА (главных компонент)  
по данным КФА, ИСФ, МИ, ЧА за пятилетний период**

Результаты кластерного анализа и многомерного шкалирования на основании данных по трем биоиндикационным системам в пределах 99 точек четко выделили 3 группы – г. Гомель + г. Минск, г. Хойники + ПГРЭЗ и Березинский заповедник, т. е. первую группу составляют крупные промышленные центры с химическим загрязнением, вторую – с радиационным и третью группу – с минимальным уровнем загрязнения (эталонная территория).



## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

### Основные научные результаты диссертации

1. Выявлено, что на всех обследованных территориях, в том числе и в Березинском биосферном заповеднике, присутствуют разной степени нарушения элементного статуса почв и морфологии вегетативных органов (листовой пластинки) *Betula pendula*. Дисбаланс химического состава проявляется в повышенном (на порядок) содержании ртути (25,6 мкг/г) и кадмия (9,4 мкг/г) в промышленных центрах, и несколько ниже – в зоне отчуждения – (3,3 мкг/г и 9,9 мкг/г соответственно) и, наоборот, пониженном содержании железа (102 мкг/г), никеля (0,3 мкг/г) и цинка (1,1 мкг/г) – в заповеднике [3, 5, 12, 14, 18, 26, 28].

2. Значения коэффициента флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой отражают влияние элементного состава почв мест сбора биологического материала с разнородными экологическими условиями. Данные статистического анализа свидетельствуют о том, что нарастание флуктуирующей асимметрии морфологических структур является интегральным маркером состояния окружающей среды и свидетельствует о многофакторности влияния на нее. Нарушение эндоэкологического статуса *Betula pendula* выражается в повсеместном накоплении в кроне соединений никеля и ртути и недостаточном поступлении соединений цинка и железа, что сопровождается увеличением частоты ненаправленных отклонений от билатеральной симметрии [3, 5, 7, 8, 9, 11, 16, 21, 25, 30]. Популяции клевера ползучего, произрастающего в урбоценозах и на территориях, подвергшихся радиационному воздействию, характеризуются по признаку «седого» пятна широким спектром генотипов (17–24), а естественные территории – представлены только 11-ю. Таким образом, в условиях техноценозов широта нормы реакции проявляется в увеличении набора фенотипов и частоты их встречаемости, а на заповедной территории – в сужении их спектра [2, 4, 6, 10, 13, 17, 19, 24, 29].

3. Результаты, полученные в процессе лабораторного эксперимента с *Allium sera*, исключаяющего влияние комплекса факторов и учитывающего лишь элементный состав почв, выявили статистически достоверную связь его цитогенетических характеристик (митотический индекс и частота абберраций) с отдельными химическими компонентами почв (железо ( $R^2=0,33$ ), медь ( $R^2=0,34$ ), никель ( $R^2=0,34$ ) и цинк ( $R^2=0,36$ )). Наименьшая частота абберраций (10–12 %) отмечена для охраняемой территории, а наибольшая (22–33 %) – для урбанизированных и зоны отчуждения. Чаще всего патологии митоза проявлялись в виде нарушения расхождения хромосом, а также образование микроядер [1, 14, 19, 20, 22, 23, 26, 27, 28].

4. Установлена зависимость морфологических особенностей видов-индикаторов, проявляющаяся в отклонении от нормального развития растений в результате сочетанного действия компонентного состава почвы (железо ( $R^2=0,15$ ), марганец

( $R^2 = 0,30$ ), свинец ( $R^2 = 0,19$ ) и цинка ( $R^2 = 0,20$ )). Зависимость между некоторыми элементами (марганец ( $R^2 = 0,19$ ), железо ( $R^2 = 0,29$ ), ртуть ( $R^2 = 0,15$ ) и цинк ( $R^2 = 0,29$ )) и ответными реакциями проявляется также в нарастании разнообразия генотипов, отраженных индексом соотношения фенов (ИСФ), выявленных у клевера ползучего. Модель многомерного шкалирования свидетельствует о том, что все типы отклонений от нормы трех видов-фитоиндикаторов имеют сходную картину ответных стресс-реакций на действие химического состава почв [1, 3, 5, 9, 15].

### **Рекомендации по практическому использованию результатов**

1. Приняты к использованию Березинским биосферным заповедником рекомендации «Оценка состояния популяций березы повислой (*Betula pendula* Roth.) по морфологическим показателям из экологически разнородных условий». Дата регистрации 14 июля 2018 г.

2. Создана база данных по содержанию химических элементов в почвах и растительном материале, коэффициенту флуктуирующей асимметрии листовой пластинки березы повислой (*Betula pendula* Roth.), наследственного полиморфизма по форме «седого пятна» клевера ползучего (*Trifolium repens* L.) и цитогенетическим показателям лука репчатого (*Allium cepa* L.), которая включена в Государственный регистр информационных ресурсов (регистрационное свидетельство №1341815999 от 28.06.2018 г. НИНРУП предприятия «ИППС»).

3. Разработано и издано учебно-методическое пособие «Феногенетическая экспертиза экологических взаимодействий» (2017г.), используемое в учебном процессе при подготовке специалистов-экологов.

4. Полученные результаты могут быть использованы при проведении долгосрочного мониторинга естественных и урбанизированных территорий по изменению морфометрических показателей, свидетельствующих об отклонении от нормального развития модельных видов фитоиндикаторов – *Betula pendula*, *Trifolium repens*. Эти изменения, как правило, обусловлены характером элементного состава почв, включая и тяжелые металлы. Эти данные послужат точкой отсчета для оценки условий среды в процессе эксплуатации Белорусской АЭС.

### **СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

*Статьи в научных изданиях, включенных в перечень ВАК:*

1. Лозинская, О.В. Биоиндикационная оценка антропогенного загрязнения Минска / О.В. Лозинская, Н.С. Крапивина, С.Б. Мельнов // Эколог. вестн. – 2010. – № 4 (14). – С. 37–44.

2. Хох, А.Н. Оценка качества среды с использованием клевера лугового (*Trifolium pratense*) / А.Н. Хох, О.В. Лозинская, С.Б. Мельнов // Вестн. Полес. гос. ун-та. Сер. природовед. наук. – 2011. – № 2. – С. 3–8.

3. Лозинская, О.В. Сравнительный анализ состояния ценопопуляций березы повислой (*Betula pendula* Roth.), произрастающей в условиях с разным уровнем антропогенной нагрузки / О.В. Лозинская, А.И. Крижевская, С.Б. Мельнов // Эколог. вестн. – 2013. – № 4 (28). – С. 103–108.
4. Лозинская, О.В. Оценка экологического состояния урбоценозов на основе полиморфизма листовой пластинки *Trifolium repens* L. / О.В. Лозинская, Н. Ю. Русак, С.Б. Мельнов // Эколог. вестн. – 2014. – № 2 (36). – С. 102–108.
5. Лозинская, О.В. Оценка содержания солей тяжелых металлов в почве и листьях березы повислой из естественных и антропогенно-измененных ландшафтов / О. В. Лозинская // Эколог. вестн. – 2017. – № 2 (40). – С. 43–51.
6. Лозинская, О.В. Оценка состояния экологической среды в Республике Беларусь с различной антропогенной нагрузкой по показателям полиморфных маркеров клевера ползучего *Trifolium repens* L. / О.В. Лозинская // Журн. Белорус. гос. ун-та. Экология. – 2018. – № 3. – С. 34–42.

#### *Материалы и тезисы конференций*

7. Автоматизированный компьютерный анализ симметрии листа *Betula pendula* / И.Г. Шевмер, Д.Ю. Шпекторов, О.В. Лозинская, С.Б. Мельнов // Региональные проблемы экологии: пути решения : материалы IV междунар. эколог. симп., Новополоцк, 21–23 нояб. 2007 г. : в 3 т. / М-во образования Респ. Беларусь, Полоц. гос. ун-т, Междунар. гос. эколог. ун-т им. А.Д. Сахарова ; редкол.: Н.Л. Белорусова [и др.]. – Новополоцк, 2007. – Т. 1. – С. 197–200.
8. Сравнительный анализ экологического давления в различных регионах Республики Беларусь по данным биоиндикации / В.Н. Кипень, Н.С. Крапивина, Е.А. Синевич, А.С. Баранов, О.В. Лозинская // Региональные проблемы экологии: пути решения : материалы IV междунар. эколог. симп., Новополоцк, 21–23 нояб. 2007 г. : в 3 т. / М-во образования Респ. Беларусь, Полоц. гос. ун-т, Междунар. гос. эколог. ун-т им. А. Д. Сахарова ; редкол.: Н.Л. Белорусова [и др.]. – Новополоцк, 2007. – Т. 1. – С. 230–233.
9. Влияние радиационного фактора на степень выраженности флуктуирующей асимметрии у *Betula pendula* / В.Н. Кипень, Н.С. Крапивина, Е. А. Синевич, А.С. Баранов, С.Б. Мельнов, О.В. Лозинская // Радиация и экосистемы : материалы междунар. науч. конф., Гомель, 2008 г. / НАН Беларуси, Ин-т радиобиологии, Междунар. гос. эколог. ун-т им. А. Д. Сахарова; редкол.: Е.Ф. Конопля [и др.]. – Гомель, 2008. – С. 222–225.
10. Хох, А.Н. Индикация состояния окружающей среды по частотам встречаемости фенов *Trifolium pratense* на примере города Бреста / А.Н. Хох, О.В. Лозинская // Экология человека и проблемы окружающей среды в

постчернобыльский период : материалы междунар. науч. конф. молодых ученых, аспирантов, магистрантов, студентов, Минск, 11–12 нояб. 2010 г. / М-во образования Респ. Беларусь, Междунар. гос. эколог. ун-т им. А. Д. Сахарова ; редкол.: С.Б. Мельнова, С.С. Позняка [ и др.]. – Минск, 2011. – С. 94–96.

11. Лозинская, О.В. Оценка уровня экологического давления в естественных популяциях зон подвергшихся дополнительному радиационному воздействию / О.В. Лозинская, В.Н. Кипень, С.Б. Мельнов // 25 лет после Чернобыльской катастрофы. Преодоление ее последствий в рамках Союзного государства : сб. пленар. докл. Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 12–13 апр. 2011 г. / М-во по чрезвычай. ситуациям Респ. Беларусь, Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыл. АЭС, Ин-т радиологии ; редкол. В. С. Аверин [ и др.]. – Гомель, 2011. – С. 59–60.

12. Лозинская, О.В. Оценка микроэлементного состава в блоке «почва-растение» на примере березы повислой (*Betula pendula* Roth.) за период 2008–2010 гг. / О.В. Лозинская, А.И. Крижевская // Сахаровские чтения 2011 года: экологические проблемы XXI века : материалы 11-й междунар. науч. конф., Минск, 19–20 мая 2011 г. / М-во образования Респ. Беларусь; редкол.: С.П. Кундас [и др.]. – Минск, 2011. – С. 172.

13. Лозинская, О.В. Динамика фенотипа *Trifolium pratense* в г. Бресте как показатель антропогенной нагрузки / О.В. Лозинская, А.Н. Хох // Сахаровские чтения 2011 года: экологические проблемы XXI века : материалы 11-й междунар. науч. конф., Минск, 19–20 мая 2011 г. / М-во образования Респ. Беларусь ; редкол.: С.П. Кундас [и др.]. – Минск, 2011. – С. 173–174.

14. Melnov, S. Integrated assessment of heavy metal pollution in big industrial center / S. Melnov, O. Lozinskaya, N. Krapivina // International workshop environmental forensics, Tbilisi, Georgia, 12–16 Sept. 2011 / ed. H. Landis [et al.]. – Tbilisi, 2011. – P. 53–58.

15. Lozinskaya, O. The estimation of quality of the environment with *Trifolium pratense* / O. Lozinskaya, A. Khokh // Actual environmental problems : proc. of the Intern. conf. of young scientists, graduates, master and PhD students, Minsk, 10–11 Nov. 2011. – Minsk, 2011. – P. 187.

16. Lozinskaya, O. The estimation of quality of the environmental on morphometric parameters of *Betula pendula* Roth / O. Lozinskaya, A. Khokh, S. Melnov // The V International conference-symposium Ecological chemistry, Chisinau, Moldova, 2–3 March 2012 / ed. Gh. Duca [et.al]. – Chisinau, 2012. – P. 95.

17. Лозинская, О. В. Кресс-салат как тест-объект для оценки загрязнения почвы / О.В. Лозинская, В.В. Карпей // Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы XXI века : материалы 12-й междунар. науч. конф., Минск, 17–18 мая 2012 г. / М-во образования Респ. Беларусь ; редкол.: С. П. Кундас [и др.]. – Минск, 2012. – С. 197–198.

18. Кулинич, А.В. Эндозкологический статус растительных объектов по показателям РФА и КФА в городах Минск и Хойники в 2011 году / А.В. Кулинич, А.И. Крижевская, О.В. Лозинская // Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы XXI века : материалы 12-й междунар. науч. конф., Минск, 17–18 мая 2012 г. / М-во образования Респ. Беларусь ; редкол.: С.П. Кундас [и др.]. – Минск, 2012. – С. 195.

19. Кулинич, А.В. Использование морфологических и цитогенетических параметров растительных тест-систем для оценки качества среды / А.В. Кулинич, О.В. Лозинская // Современное состояние и перспективы развития особо охраняемых природных территорий Республики Беларусь : материалы междунар. науч.-практ. конф., п. Домжерицы, 24–26 сент. 2012 г. / Упр. делами Президента Респ. Беларусь [и др.]; редкол.: В. С. Ивкович [и др.]. – Минск, 2012. – С. 164–167.

20. Клопова, Е.О. Оценка качества городской среды с помощью Allium-теста / Е.О. Клопова, А.Н. Хох, О.В. Лозинская // Сахаровские чтения 2012 года: экологические проблемы XXI века : материалы 12-й междунар. науч. конф., Минск, 17–18 мая 2012 г. / М-во образования Респ. Беларусь ; редкол.: С.П. Кундас [и др.]. – Минск, 2012. – С. 324–325.

21. Кулинич, А.В. Использование морфологических и цитогенетических параметров растительных тест-систем для оценки качества среды / А.В. Кулинич, О.В. Лозинская // Сахаровские чтения 2013 года: экологические проблемы XXI века : материалы 13-й междунар. науч. конф., Минск, 16–17 мая 2013 г. / М-во образования Респ. Беларусь редкол.: С.П. Кундас [и др.]. – Минск, 2013. – С. 180.

22. Игнатюк, Д.С. Использование Allium-test для оценки качества среды крупных промышленных центров на примере г. Минска / Д.С. Игнатюк, О.В. Лозинская // Сахаровские чтения 2014 года: экологические проблемы XXI века : материалы 14-й междунар. науч. конф., Минск, 29–30 мая 2014 г. / М-во образования Респ. Беларусь редкол.: В.И. Дунай [и др.]. – Минск, 2014. – С. 237.

23. Исаченко, Е.В. Биоиндикационные исследования заповедных территорий / Е.В. Исаченко, О.В. Лозинская // Сахаровские чтения 2014 года: экологические проблемы XXI века : материалы 14-й междунар. науч. конф., Минск, 29–30 мая 2014 г. / М-во образования Респ. Беларусь; редкол.: В. И. Дунай [и др.]. – Минск, 2014. – С. 238.

24. Русак, Н.Ю. Определение состояния урбоценозов с помощью растительных тест-систем / Н.Ю. Русак, О.В. Лозинская // Сахаровские чтения 2014 года: экологические проблемы XXI века : материалы 14-й междунар. науч. конф., Минск, 29–30 мая 2014 г. / М-во образования Респ. Беларусь редкол.: В.И. Дунай [и др.]. – Минск, 2014. – С. 254.

25. Цедрик, А.С. Использование метода флуктуирующий асимметрии для оценки качества среды крупных промышленных центров / А.С. Цедрик,

О.В. Лозинская // Сахаровские чтения 2014 года: экологические проблемы XXI века : материалы 14-й междунар. науч. конф., Минск, 29–30 мая 2014 г. / М-во образования Респ. Беларусь редкол.: В.И. Дунай [и др.]. – Минск, 2014. – С. 260.

26. Исаченко, Е.В. Использование цитогенетических показателей *Allium sera* для оценки экологического состояния заповедных территорий Республики Беларусь / Е.В. Исаченко, О.В. Лозинская // 6-й Молодежный экологический конгресс «Северная Пальмира», Санкт-Петербург, 3–4 дек. 2014 г. / С.-Петерб. науч.-исслед. центр эколог. безопасности Рос. акад. наук. – СПб., 2014. – С. 71–75.

27. Исаченко, Е.В. Цитогенетический анализ почв заповедных территорий Республики Беларусь / Е.В. Исаченко, О.В. Лозинская // Вестн. Южно-Каз. гос. фарм. акад. – 2014. – № 4 (69), прил. 2 : [спецвып.] : Перспективы развития биологии, медицины и фармации : II Междунар. науч. конф. молодых ученых и студентов, Респ. Казахстан, Шымкент, 9–10 дек. 2014 г. / Южн. Казах. гос. фарм. акад. ; редкол.: Б.Д. Сексенбаев [и др.]. – С. 162–163.

28. Исаченко, Е.В. Использование цитогенетических показателей *Allium sera* для оценки экологического состояния территории Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / Е.В. Исаченко, О.В. Лозинская // Проблемы сохранения биологического разнообразия и использования биологических ресурсов : материалы III Междунар. конф., посвящ. 110-летию со дня рожд. акад. Н.В. Смольского, Минск, 7–9 окт. 2015 г. : в 2 ч. / Нац. акад. наук Беларуси ; редкол.: В.В. Титок [и др.]. – Минск, 2015. Ч.1. – С. 93–96.

29. Eshmanskaya, Yu. Bioindication estimation of the quality of environment with the use of *Trifolium repens* L. / Yu. Eshmanskaya, O. Lozinskaya // Actual environmental problems : the Proceedings of the VI-th international scientific conference for young scientists, graduates, master and PhD students. Minsk, November 24–25, 2017 / ISEI BSU : edited by S.A. Maskevitch, S.S. Poznjak. – Minsk, 2017. – P. 139–140.

30. Petukh, A. Monitoring of the territory of Belarusian NPP under construction with the use of fluctuating asymmetry of leaf blade *Betula pendula* Roth. / A. Petukh, O. Lozinskaya // Actual environmental problems : the proceedings of the VI-th International scientific conference for young scientists, PhD students, Master's degree students and students (in English), Minsk, November 23–24, 2017 / ISEI BSU : edited by S.A. Maskevitch, S.S. Poznjak. – Minsk, 2017. – P. 178.

#### Учебно-методические издания

31. Лозинская, О.В. Феногенетическая экспертиза экологических воздействий : учеб.-метод. пособие / О.В. Лозинская, Е.М. Шпадарук, Н.С. Смольник. – Минск: ИВЦ Минфина, 2017. – 40 с.

## РЭЗЮМЭ

Лазінская Вольга Ўладзіславаўна

## АЦЭНКА СТАНУ ЎРБАЊІЗАВАНАГА НАВАКОЛЬНАГА АСЯРОДДЗЯ ПА СТРЭС-РЭАКЦЫІ Ў РАСЛІН-БІЯІНДЫКАТАРАЎ

**Ключавыя словы:** віды-індыкатары, *Betula pendula*, *Trifolium repens*, *Allium sera*, флуктуіруючая асіметрыя, палімарфізм, храмасомныя аберацыі, глеба, элементны склад, цяжкія металы.

**Мэта даследавання:** Ацаніць уплыў элементнага складу глеб, у прыватнасьці, па ўтрыманню соляў цяжкіх металаў на морфагенетычныя і цытагенетычныя паказчыкі стрэс-рэакцый у раслін-фітаіндыкатараў, якія адлюстроўваюць выяўленнасьць антрапагеннага ціску на экасістэмы ўрбанізаваных тэрыторый.

**Метады даследавання:** рэнтгена-флуарэсцэнтны аналіз, каэфіцыент флуктуіруючай асіметрыі, індэкс суадносін фенаў, цытагенетычны аналіз

**Атрыманыя вынікі і іх навізна:** ўпершыню ў Беларусі праведзена комплексная ацэнка ўплыву элементнага складу глеб на фарміраванне стрэс-рэакцый ў розных раслін-фітаіндыкатараў ва ўмовах разнатыпнага антрапагеннага ўздзеяння на экасістэмы.

Выяўлена мадыфікацыйная роля элементнага складу глебаў у *B. pendula*, *T. repens*, распаўсюджаных ва ўмовах разнафактарнай антрапагеннай нагрузкі, і *A. sera* – у экспэраментальных умовах аднафактарнага уплыву. атрыманы морфагенетычныя і цытагенетычныя паказчыкі стрэс-рэакцый раслін розных сістэматычных груп, якія дазволілі вылучыць тры кластара стану даследаваных тэрыторый.

Упершыню ўстаноўлена наяўнасьць фарміравання стрэс-рэакцый марфалагічных (ліставой пласцінкі бярозы павіслай і канюшыны паўзучай) і цытагенетычных параметраў (каранёвай мерыстэмы цыбулі рэпчатай) на змяненне элементнага складу глебы і іх назапашваннем у вегетатыўных органах раслін-фітаіндыкатараў.

Праведзена ранжыраванне ўсёй разнастайнасці адхіленняў ад нармальнага развіцця раслінных арганізмаў пад уплывам элементнага складу глебаў ва ўмовах дамінуючага прамысловага забруджвання.

**Галіна выкарыстання:** экалогія (біяіндыкацыя), сістэма маніторынгу, навучальны працэс.

## РЕЗЮМЕ

Лозинская Ольга Владиславовна

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ УРБАНИЗИРОВАННОЙ ОКРУЖАЮЩЕЙ  
СРЕДЫ ПО СТРЕСС-РЕАКЦИИ У РАСТЕНИЙ-БИОИНДИКАТОРОВ**

**Ключевые слова:** виды-индикаторы, *Betula pendula*, *Trifolium repens*, *Allium sera*, флуктуирующая асимметрия, полиморфизм, хромосомные aberrации, почвы, элементный состав, тяжелые металлы.

**Цель работы:** оценить влияние элементного состава почв, в частности, по содержанию солей тяжелых металлов, на морфофенетические и цитогенетические показатели стресс-реакций у растений-фитоиндикаторов, отражающие выраженность антропогенного давления на экосистемы урбанизированных территорий.

**Методы исследования:** рентгено-флуоресцентный анализ, коэффициент флуктуирующей асимметрии, индекс соотношения фенов, цитогенетический анализ.

**Полученные результаты и их новизна.** Впервые в Беларуси дана комплексная оценка влияния элементного состава почв на формирование стресс-реакций у различных растений-фитоиндикаторов в условиях разнотипного антропогенного воздействия на экосистемы.

Выявлена модифицирующая роль элементного состава почв у *T. repens*, *B. pendula*, распространенных в условиях разнофакторной антропогенной нагрузки, и у *A. sera* – в экспериментальных условиях однофакторного влияния; получены морфофенетические и цитогенетические показатели стресс-реакций растений разных систематических групп, позволившие выделить три кластера состояния исследованных территорий;

Впервые установлено наличие формирования стресс-реакций в виде морфофенетических и цитогенетических признаков модельных видов в зависимости от особенностей элементного состава почв и их накопления в вегетативных органах одного из модельных объектов.

Проведено ранжирование всего разнообразия отклонений от нормального развития растительных организмов под влиянием элементного состава почв в условиях доминирующего промышленного загрязнения.

**Область применения:** экология (биоиндикация), система мониторинга, учебный процесс.



## SUMMARY

Olga Vladislavovna Lozinskaya

### ASSESSMENT OF THE STATE OF THE URBANIZED ENVIRONMENT BY STRESS RESPONSE IN BIOINDICATOR PLANTS

**Keywords:** phytoindicators, *Betula pendula*, *Trifolium repens*, *Allium cepa*, fluctuating asymmetry, polymorphism, chromosomal aberrations, soils, elemental composition, heavy metals.

**The aim of this study** is to assess the effect of the elemental composition of soils, in particular, on the content of heavy metal salts on the morphological, phenetic and cytogenetic indicators of stress reactions in plant phytoindicators, reflecting the degree of pressure on the ecosystems of urban areas.

**Methods of research:** X-ray fluorescence analysis, the coefficient of fluctuating asymmetry, fen ratio, cytogenetic analysis

**Obtained results and their novelty:** For the first time in Belarus, a comprehensive assessment of the influence of the elemental composition of the soil on the formation of stress reactions various phytoindicators plants under the conditions of heterogeneous anthropogenic impact on ecosystems has been given.

The modifying role of the elemental composition of soils was releaved in *T. repens*, *B. pendula*, which are widespread under conditions of a multi-factor anthropogenic load, and *A. cepa*, under experimental conditions of a univariate influence. morphophenetic and cytogenetic indicators of stress reactions of plants of different systematic groups were obtained, which made it possible to distinguish three clusters of the state of the studied territories;

For the first time, the uniformity of the formation of stress reactions of morpho-phenetic and cytogenetic parameters of model species was established depending on the characteristics of the composition of the chemical elements of soils and their accumulation in the vegetative organs of phytoindicator plants.

The entire variety of deviations from the normal development of plant organisms under the influence of the elemental composition of soils under the conditions of dominant industrial a pollution was ranked.

**Field of application:** ecology (bioindication), educational process, monitoring systems.