

На правах рукописи

Прусаченко Андрей Викторович

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЙ
ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ УРБАНОЗЕМОВ ГОРОДА КУРСКА

Специальность 03.02.08 – экология (биология)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва – 2011

Диссертационная работа выполнена на кафедре общей биологии и экологии естественно-географического факультета Курского государственного университета в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», госконтракт № 14.740.11.0412.

Научный руководитель доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Проценко Елена Петровна

Официальные оппоненты доктор биологических наук, профессор
Терехова Вера Александровна

доктор биологических наук, профессор
Мосина Людмила Владимировна

Ведущая организация ФГОУ ВПО Курская государственная сельскохозяйственная академия имени профессора И.И. Иванова

Защита диссертации состоится «23» марта 2011 года в 14³⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 220.043.03 при Российском государственном аграрном университете - МСХА имени К.А.Тимирязева, корпус №9, аудитория имени Н.Н.Худякова

Адрес: 127550 г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, Ученый совет РГАУ-МСХА имени К.А.Тимирязева

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке Российского государственного аграрного университета - МСХА имени К.А.Тимирязева

Автореферат разослан «16» февраля 2011 г.
и размещен на сайте университета www.timacad.ru

Отзывы на автореферат (в 2-х экземплярах, заверенных печатью) просим направлять по адресу: 127550 г. Москва, ул. Тимирязевская, 49, факс 8(495) 976-24-92

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологический наук

О.В.Селицкая

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. В настоящее время, особое внимание уделяется исследованию свойств городских почв, испытывающих значительный техногенный пресс, составной частью которого является загрязнение тяжелыми металлами (М.Н. Строганова, М.Г. Агаркова, 1992; М.Н. Строганова, Т.В. Мягкова, Т.В. Прокофьева, 1997; А.С. Яковлев, 2000; Е.В. Шунелько, А.И. Федорова, 2006).

Среди тяжелых металлов много микроэлементов, биологически важных для живых организмов. Однако избыточное содержание тяжелых металлов в различных объектах биосферы оказывает угнетающее и даже токсическое действие на живые организмы. Очень сложен вопрос нормирования содержания тяжелых металлов в почве, который должен решаться на основе учета ее свойств (А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас, 1989; Н.А. Протасова, А.Б. Беляев, А.П. Щербаков, 2000).

Большинство предпринимаемых попыток нормирования загрязнения почв тяжелыми металлами сводились к тому, чтобы определить предельно допустимую концентрацию металла в почве. Однако в силу объективных причин, таких как полифункциональность и гетерогенность почвы, разнообразие ее типов, разнообразие загрязняющих веществ, явления синергизма и антагонизма между ними, способность живых организмов к адаптации, а почвы — к самоочищению, использование ПДК поллютантов для оценки уровня загрязнения является односторонним показателем (М.Н. Строганова, М.Г. Агаркова, 1992; В.Б. Ильин, 2000; А.С. Яковлев, 2000; О.В. Лисовикая, В.А. Терехова, 2010).

В настоящее время при экологической оценке объектов окружающей природной среды наряду с химическим анализом применяют биологические тест-методы, в рамках которых изучается воздействие загрязнителей на живые организмы. Отклик различных тест-организмов при одинаковом воздействии поллютантов в ряде случаев бывает неоднозначным и выражен в разной степени. Так для некоторых организмов наблюдается не угнетение, а стимуляция учитываемых тест-реакций (Р.Р. Кабиров, А.Р. Сагитова, Н.В. Суханова, 1997; А.С. Яковлев, 2000; Т.А. Девятова, 2005; Е.В. Шунелько, А.И. Федорова, 2006; В.А. Терехова, 2007).

Работа выполнена в рамках федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», госконтракт № 14.740.11.0412.

Цель работы: провести экотоксикологические исследования антропогенно преобразованных почв города Курска с оценкой уровня и степени их токсичности методом биотестирования.

Задачи исследования:

1) определить валовое содержание, содержание подвижных и водорастворимых форм цинка, кадмия, свинца и меди в урбаноземах г. Курска;

- 2) оценить уровень и степень опасности загрязнения урбаноземов тяжелыми металлами;
- 3) оценить интегральную токсичность урбаноземов методом биотестирования с использованием различных тест-организмов;
- 4) выявить наиболее чувствительные тест-организмы к содержанию различных тяжелых металлов в почвах;
- 5) выявить взаимосвязи между содержанием тяжелых металлов и количественным проявлением тест-функций.

Научная новизна работы: проведено комплексное исследование загрязнения урбаноземов г. Курска тяжелыми металлами, с оценкой их агрохимических свойств, обеспеченности элементами питания, экотоксикологического отклика высших растений, одноклеточных зеленых водорослей, простейших, низших ракообразных на их загрязнение. Впервые на искусственно загрязненных серых лесных почвах г. Курска изучен отклик используемых тест-организмов на воздействие отдельных загрязнителей (Zn, Cd, Pb, Cu) при возрастающих дозах, которые соответствуют реальным загрязнениям урбаноземов г. Курска. Предложен индекс интегральной фитотоксичности с учетом суммарного значения тест-функций высших растений.

Практическая значимость работы. Проведенные исследования позволят дать текущие и долгосрочные прогнозы состояния почв, а также могут быть использованы при определении оптимальных и критических показателей состояния почв в условиях разных по интенсивности и качественному составу техногенных воздействий. Знание интегральной фитотоксичности почвенного покрова г. Курска и последующее наблюдение за ее изменением позволит выявить региональную тенденцию изменения токсичности; оценить скорость и характер локальных изменений токсичности почвы на конкретных участках; установить, насколько эффективны, с точки зрения снижения токсичности почвенного покрова, проведенные экологические мероприятия.

Личный вклад автора. Все этапы работы были выполнены лично автором или при непосредственном его участии: отбор и химический анализ почвенных образцов, постановка лабораторного опыта, биотестирование почвенных образцов, обработка результатов. Автором рассчитан индекс токсичности оцениваемого фактора по каждому тест-организму и учитываемой тест-функции, предложен индекс интегральной фитотоксичности.

Апробация работы. Результаты исследования были представлены на межвузовской научной конференции «Научные исследования студентов и аспирантов в реализации национального проекта «Развитие АПК» (Курск, 2008 г.), международной научно-практической конференции «Современная экология – наука XXI века» (Рязань, 2008), научно-практической конференции «Агро-

экологические проблемы повышения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур» (Курск, 2008 г.), международной конференции «Проблемы экологии в современном мире» (Тамбов, 2009), а также международном научно-техническом конгрессе «Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов» ЕLPIT – 2009 (Тольятти, 2009 г.).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 9 работ, в том числе 2 статьи в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка литературы и приложения. Диссертация изложена на 112 страницах, содержит 10 таблиц. Список литературы включает 267 наименований, из них 43 зарубежные.

Защищаемые положения:

1) загрязнение урбаноземов г. Курска тяжелыми металлами (Zn, Cd, Pb, Cu) весьма значительные как по валовым формам, так и по подвижным и водорастворимым;

2) воздействия почв одинакового уровня загрязнения могут вызывать разный отклик учитываемой тест-функции высших растений;

3) использование методов альготестирования и тестирования с использованием простейших и низших ракообразных при изучении загрязнений почв показало неоднозначную реакцию тест-организмов на одинаковое воздействие;

4) из использованных живых организмов наиболее чувствительными к загрязнению изучаемых урбаноземов являются: из покрытосеменных растений – *Avena sativa L.*, из одноклеточных зеленых водорослей *Chlorella vulgaris* и простейшие – *Paramecium caudatum*.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность своему научному руководителю доктору сельскохозяйственных наук, профессору Е.П. Проценко за постоянное внимание к работе, ценные советы и рекомендации на всех этапах проведенного исследования. Особую благодарность автор выражает кандидату биологических наук, доценту, руководителю отдела биотестирования НИЛ «Мониторинг объектов окружающей среды» Миронову С.Ю. за ценные научные консультации и методическую помощь в работе. Автор также благодарен всем сотрудникам кафедры общей биологии и экологии КГУ, оказавшим помощь в работе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ

Глава I. Обзор литературы

В главе дается краткий обзор литературы о причинах образования и особенностях урбаноземов – как отдельного типа почв. Рассмотрена проблема за-

грязнения урбаноземов тяжелыми металлами. Представлены основные источники поступления и формы тяжелых металлов, механизмы их закрепления в почве, причины и источники загрязнения тяжелыми металлами почв города Курска. Освещены проблемы нормирования содержания тяжелых металлов в городских почвах, а также вопрос об использовании биотестирования как метода интегральной оценки токсичности почв.

Глава II. Объекты и методы исследования

Объектами исследования послужили антропогенно преобразованные почвы г. Курска, испытывающие на себе различное по интенсивности транспортное и промышленное воздействие.

Образцы почвы для анализа отбирались на 6 различных участках города: урочище Знаменская роща, парки им. Героев Гражданской войны и им. Ф.Э. Дзержинского, территории заводов «Счетмаш», «Курский кожзавод» и предприятия «Курская городская типография». Образцы почвы, отобранные на территории агробиостанции КГУ, которая расположена за пределами города, использовались как эталон.

Почвы, которые выбраны объектами для проведения исследования, исторически сложились и по своим характеристикам соответствуют серым лесным.

Все почвенные образцы были отобраны и подготовлены согласно стандартным методикам пробоотбора и пробоподготовки (ГОСТ 17.4.3.01-83, ГОСТ 17.4.4.02-84, СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03, ГОСТ 5180-84).

Методы исследования. В каждом образце почвы, в соответствии со стандартными методиками (ГОСТ 26483-85–ГОСТ 26490-85, ГОСТ 26213-91, ГОСТ 26204-91, ГОСТ 26951-86, определение щелочногидролизующего азота в почве по Корнфилду в модификации ЦИНАО) были изучены агрохимические свойства. Определялось валовое содержание, содержание подвижных и водорастворимых форм Pb, Cd, Cu и Zn. Анализ проводился в трехкратной повторности, в трех параллельных пробах на вольтамперометрическом анализаторе ТА-4, в соответствии с МУ 31-11/05 (ФР.1.34.2005.02119, ПНД Ф 16.1:2:2:2:3.48-06). На основе данных анализа содержания тяжелых металлов, путем расчета коэффициента концентрации химического вещества (определяется отношением фактического содержания определяемого вещества в почве к его фоновому содержанию) и суммарного показателя загрязнения проведена оценка уровня химического загрязнения (Б.А. Ревич, Ю.Е. Саэт, Р.С. Смирнова, Е.П. Сорокина, 1982; МУ 2.1.7.730-99).

С целью определения интегральной токсичности выбранных объектов было проведено биотестирование. Использовали показатели токсичности водных вытяжек из почв. В качестве тест-культур нами были выбраны цветковые

растения: *Avena sativa* L. сорта «Львовский - 72», *Hordeum vulgare* L. сорта «Гонар», *Raphanus sativus* сорта «Красный с белым кончиком»; одноклеточные зеленые водоросли: *Chlorella vulgaris* Beijer и *Scenedesmus quadricauda* (Turp.) Breb.; простейшие *Paramecium caudatum* Erenberg и низшие ракообразные *Daphnia magna* Straus.

Как тест-реакции высших растений учитывались энергия прорастания семян, длина проростка и длина корня, согласно методикам ISO 11269-1 и ISO 11269-2. При проведении альготестирования учитывалось изменение численности клеток, в соответствии с методиками ПНД Ф Т 14.1:2:3:4.10-04 (16.1:2.3.7-04) и ФР.1.39.2007.03223. Как тест-реакция, при биотестировании с использованием простейших и низших ракообразных учитывалась выживаемость организмов, в соответствии с методиками ФР.1.39.2006.02506, (ПНД Ф Т 14.1:2:3.13-06 (16.1:2.3.10-06)) и ФР.1.39.2007.03222.

С целью оценки количественного проявления тест-функции каждого выбранного тест-организма на различное содержание тяжелых металлов, было проведено тестирование модельно загрязненных серых лесных почв при нарастающих дозах отдельных загрязнителей (Zn, Cd, Pb, Cu), которые соответствуют реальным уровням загрязнения урбаноземов г. Курска. Ионы металлов в почву вводились в виде водорастворимых солей: $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$, $CdCl_2$, $Pb(CH_3COO)_2 \cdot 3H_2O$, $CuSO_4 \cdot 5H_2O$.

Глава III. Экотоксикологическая оценка урбанозёмов г. Курска

3.1. Агрохимические свойства серых лесных почв и урбанозёмов г. Курска

Результаты анализа агрохимических свойств серых лесных почв и урбанозёмов представлены в таблице 1.

Для исследуемых урбанозёмов характерно значительное обеднение щелочногидролизуемым азотом, по сравнению с серыми лесными почвами агробиостанции КГУ (контроль). Для образцов, отобранных в парке им. Героев Гражданской войны, в районе заводов «Счетмаш» и «Курский кожзавод» наблюдается низкое, нехарактерное для зональных почв содержание гидролизуемого азота: от 40 до 70 мг/100 г почвы. По результатам анализа содержания нитратного и аммонийного азота установлено обеднение почв минеральными формами азота. Вместе с тем, содержание гумуса в данных урбаноземах нередко превышает содержание в зональных серых и даже темно-серых лесных почвах. Это может быть связано с завозом почво-грунтов чернозема типичного из южной части города при парковом строительстве. Повышение содержания гумуса по Тюрину на территории типографии до 14,7% при очень низком содержании щелочногидролизуемого азота связано со специ-

фической деятельности предприятия – выбросом в атмосферу бумажной пыли в течение нескольких десятилетий.

Таблица 1

Агрохимические свойства серых лесных почв и урбанозёмов г. Курска

№ п/п	Место отбора почвенных проб	Глубина отбора, см	рН _{KCl}	Гумус (по Тюрину), %	N-NO ₃ мг/100 г	N-NH ₄ мг/100 г	N _{ш.г.} (по Корнфилду) мг/100 г	Подвижные (по Чирикову) мг/100 г	
								P ₂ O ₅	K ₂ O
1	Агробиостанция КГУ	0 – 20	5,3 ±0,115	4,21 ±0,015	3,45 ±0,046	1,23 ±0,032	184,40 ±0,032	17,8 ±1,286	19,7 ±0,042
2	Урочище Знаменская роща	0 – 20	5,1 ±0,10	4,78 ±0,015	2,22 ±0,036	1,06 ±0,056	145,33 ±0,032	79,0 ±1,202	49,0 ±0,069
3	Парк им. Героев Гражданской войны	0 – 20	5,8 ±0,058	6,45 ±0,015	0,51 ±0,026	2,09 ±0,036	68,13 ±0,032	66,4 ±1,353	14,5 ±0,069
4	Завод «Счетмаш»	0 – 20	7,2 ±0,058	6,60 ±0,015	0,51 ±0,038	1,94 ±0,040	44,40 ±0,032	33,2 ±1,286	24,9 ±0,087
5	Парк имени Ф.Э. Дзержинского	0 – 20	6,6 ±0,115	5,61 ±0,031	4,95 ±0,044	1,96 ±0,047	152,53 ±0,032	206,0 ±0,811	44,9 ±0,069
6	«Курский кожзавод»	0 – 20	5,7 ±0,115	4,35 ±0,025	0,49 ±0,045	4,14 ±0,040	74,87 ±0,032	12,8 ±1,048	12,4 ±0,038
7	«Курская городская типография»	0 – 20	7,2 ±0,115	14,72 ±0,017	0,37 ±0,036	0,48 ±0,026	40,20 ±0,032	33,2 ±1,039	21,6 ±0,040
НСР _{0,05}			0,2	0,09	0,18	1,04	15,9	11,9	9,6

3.2. Анализ содержания тяжелых металлов в серых лесных почвах и урбаноземах г. Курска

Результаты анализа содержания валовых, подвижных и водорастворимых форм Pb, Cd, Cu и Zn в серых лесных почвах и урбанозёмах г. Курска представлены в таблице 2. Установлено, что в пробах с территорий агробиостанции КГУ и урочища Знаменская роща содержание тяжелых металлов, по всем формам, не достигает уровня ПДК. Во всех изучаемых почвах валовое содержание и содержание подвижных форм кадмия также не достигает уровня ПДК.

Во всех изученных пробах почв выявлено превышение ПДК. Так, превышение по валовому содержанию цинка составило 2,5–28 ПДК, по содержанию подвижных форм – 2,5–10,5 ПДК и по содержанию водорастворимых форм цинка – 25–690 ПДК.

В образцах, за исключением пробы отобранной вблизи территории завода «Счетмаш», по валовому содержанию свинца превышение составило 1,5–3 ПДК, по содержанию подвижных форм – 3–11 ПДК. По содержанию водорастворимых форм свинца превышение составило 2 и 2,5 ПДК в образцах, отобранных на территории парка им. Ф.Э. Дзержинского и предприятия «Курская

Таблица 2

Содержание тяжелых металлов в серых лесных почвах и урбаноэмах города Курска (мг/кг)

№ п/п	Место отбора почвенных проб	Глубина отбора, см	Концентрация тяжелых металлов в образцах почвы, мг/кг											
			Zn			Cd			Pb			Cu		
			Валовое содержание	Подвижная форма	Водорастворимая форма	Валовое содержание	Подвижная форма	Водорастворимая форма	Валовое содержание	Подвижная форма	Водорастворимая форма	Валовое содержание	Подвижная форма	Водорастворимая форма
1.	Агробиостанция КГУ	0 – 20	12,65 ±0,12	7,58 ±0,12	следы	0,31 ±0,0079	0,045 ±0,0031	следы	2,86 ±0,064	2,10 ±0,078	0,018 ±0,0017	6,33 ±0,042	0,042 ±0,0015	следы
2.	Урочище Знаменская роща	0 – 20	56,65 ±0,77	5,60 ±0,19	следы	0,13 ±0,0015	0,076 ±0,0021	0,024 ±0,0025	23,70 ±0,539	4,20 ±0,142	следы	0,324 ±0,0042	0,084 ±0,0032	следы
3.	Парк им. Героев Гражданской войны	0 – 20	266,0 ±0,70	60,20 ±0,18	следы	0,26 ±0,0081	0,052 ±0,0044	0,012 ±0,0026	53,60 ±0,658	17,60 ±0,344	0,06 ±0,015	57,0 ±0,95	1,26 ±0,032	0,081 ±0,0032
4.	Завод «Счетмаш»	0 – 20	714,50 ±0,53	244,40 ±0,75	6,90 ±0,032	0,98 ±0,0176	0,196 ±0,0082	0,011 ±0,001	1,68 ±0,026	1,44 ±0,123	0,005 ±0,001	285,0 ±0,58	6,34 ±0,031	0,084 ±0,0035
5.	Парк имени Ф.Э. Дзержинского	0 – 20	1728,0 ±0,91	19,20 ±0,43	0,25 ±0,021	0,12 ±0,0112	0,024 ±0,0026	следы	83,35 ±0,247	23,20 ±0,653	0,18 ±0,021	0,96 ±0,041	0,86 ±0,049	0,03 ±0,0035
6.	«Курский кожзавод»	0 – 20	964,50 ±0,69	125,0 ±0,91	2,30 ±0,104	0,62 ±0,0070	0,124 ±0,0059	следы	73,0 ±0,751	38,60 ±0,557	следы	1,08 ±0,025	0,279 ±0,0031	следы
7.	«Курская городская типография»	0 – 20	2777,0 ±2,78	96,40 ±0,63	0,96 ±0,029	0,86 ±0,0085	0,172 ±0,0017	следы	94,0 ±0,737	65,20 ±0,479	0,25 ±0,017	9,20 ±0,38	1,93 ±0,031	следы
ПДК*			100,0	23,0	0,01	5,0	1,0	—	32,0	6,0	0,1	55,0	3,0	0,001

* Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Hygienic evaluation of soil in residential areas. Методические указания МУ 2.1.7.730-99. Утв. главным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 07. 02. 1999 г. Введены 05. 04. 1999 г.

городская типография» соответственно. В почве территории завода «Счетмаш» превышения ПДК, по всем формам содержания свинца, не отмечено.

В пробах с территории парка им. Героев Гражданской войны и вблизи завода «Счетмаш» превышение по валовому содержанию меди составило 1 и 5 ПДК соответственно. В почве с территории примыкающей к заводу «Счетмаш» по содержанию подвижных форм меди установлено превышение в 2 ПДК. В пробах почв территорий парков им. Героев Гражданской войны, завода «Счетмаш» и парка им. Ф.Э. Дзержинского установлено превышение 30–84 ПДК по содержанию водорастворимых форм меди.

Таким образом, на основании количественного химического анализа установлено, что уровень загрязнения урбаноземов г. Курска достаточно высок, а приоритетным загрязнителем, по всем формам, является цинк.

3.3. Оценка уровня химического загрязнения урбаноземов г. Курска

Для оценки уровня химического загрязнения почв рассчитывали коэффициент концентрации загрязнителя (отношение фактического содержания определяемого вещества в почве к его фоновому содержанию) и суммарный показатель загрязнения (по валовому содержанию), данные расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Оценка уровня химического загрязнения
серых лесных почв и урбаноземов г. Курска

№ п/п	Место отбора поч- венных проб	Zn	Cd	Pb	Cu	Z _с
		K _с	K _с	K _с	K _с	
1.	Агробиостанция КГУ	0,2	1,6	0,1	0,4	2
2.	Урочище Знаменская роща	0,9	0,7	1,5	0,1	3
3.	Парк им. Героев Гражданской войны	4,4	1,3	3,4	3,2	12
4.	Завод «Счетмаш»	11,9	4,9	0,1	15,8	33
5.	Парк имени Ф.Э. Дзержинского	28,8	0,6	5,2	0,1	35
6.	«Курский кожзавод»	16,1	3,1	4,6	0,1	24
7.	«Курская городская типография»	46,3	4,3	5,9	0,5	57

K_с – коэффициент концентрации химического вещества

Z_с – суммарный показатель загрязнения

На основании полученных данных и в соответствии с МУ 2.1.7.730-99 почвы с территории агробиостанции КГУ (Z_с = 2), урочища Знаменская роща (Z_с = 3) и парка им. Героев Гражданской войны (Z_с = 12) относятся к допусти-

мой категории загрязнения (величина $Z_C < 16$). Однако, показатель Z_C для почв парка им. Героев Гражданской войны заметно увеличивается по сравнению с пробами с территорий агробиостанции КГУ и урочища Знаменская роща, что вероятно связано с автотранспортной нагрузкой на данный объект. Почвы с территорий завода «Счетмаш» ($Z_C = 33$), парка им. Ф.Э. Дзержинского ($Z_C = 35$) и предприятия «Курская городская типография» ($Z_C = 57$) относятся к опасной категории загрязнения (величина $Z_C = 32 - 128$). Значительное увеличение значения Z_C для почвы территории типографии обусловлено наличием как промышленного, так и автотранспортного загрязнения, в отличие от проб территорий вблизи завода «Счетмаш» (где присутствует практически только промышленное загрязнение) и парка Дзержинского (где присутствует только автотранспортное загрязнение). Почва с территории кожзавода ($Z_C = 24$) относится к умеренно опасной категории (величина $Z_C = 16 - 32$), т.к. загрязнение обусловлено только деятельностью завода.

Глава IV. Оценка уровня токсичности урбанозёмов г. Курска методом биотестирования

4.1. Фитотестирование серых лесных почв и урбанозёмов г. Курска

Результаты фитотестирования серых лесных почв и урбанозёмов представлены в таблице 4.

По результатам тестирования с учетом как тест-функции энергии прорастания, по сравнению с контролем (агробиостанция КГУ), в пробе с территории урочища Знаменская роща установлено достоверное ($P=0,05$) снижение энергии прорастания ячменя. В пробе с территории парка им. Героев Гражданской войны отмечено снижение энергии прорастания как ячменя, так и овса. В пробе с территории завода «Счетмаш» отмечено увеличение энергии прорастания ячменя и снижение энергии прорастания редиса. В пробах с территориями «Курского кожзавода» и предприятия «Курская городская типография» наблюдается снижение энергии прорастания овса и увеличение энергии прорастания ячменя. Проба с территории парка им. Ф.Э. Дзержинского не вызвала достоверных изменений данной тест-функции для всех трех растительных тест-организмов.

Таким образом, в результате фитотестирования установлено неоднозначное изменение значений энергии прорастания как одной из тест-реакций цветковых растений на одно и то же воздействие поллютантов. Так в целом наблюдается достоверное снижение энергии прорастания овса и редиса, для ячменя отмечено как снижение, так и стимуляция этого параметра.

По результатам тестирования с учетом как тест-функции длины проростка, по сравнению с контролем (агробиостанция КГУ), отмечено, что вытяжка пробы с территории урочища Знаменская роща не вызвала достоверных изменений

Таблица 4

Значения тест-реакций высших растений при биотестировании серых лесных почв и урбанозёмов г. Курска

№ п/п	Место отбора почвенных проб	Глубина отбора, см	<i>Avena sativa L.</i>			<i>Hordeum vulgare L.</i>			<i>Raphanus sativus L.</i>		
			Энергия прорастания, %	Длина проростка, см	Длина корня, см	Энергия прорастания, %	Длина проростка, см	Длина корня, см	Энергия прорастания, %	Длина проростка, см	Длина корня, см
1.	Агробиостанция КГУ	0 – 20	96,4 ±0,748	4,73 ±0,093	8,09 ±0,158	78,4 ±0,748	5,16 ±0,097	7,11 ±0,040	94,8 ±1,020	3,32 ±0,007	8,70 ±0,029
2.	Урочище Знаменская роща	0 – 20	97,2 ±0,490	4,80 ±0,015	8,53* ±0,019	68,8* ±1,020	5,18 ±0,135	6,90 ±0,119	93,2 ±0,490	3,71* ±0,135	8,95* ±0,019
3.	Парк им. Героев Гражданской войны	0 – 20	94,0* ±0,632	6,63* ±0,022	9,82* ±0,024	64,4* ±2,315	7,0* ±0,133	8,34* ±0,119	95,2 ±0,490	3,77* ±0,133	8,50* ±0,024
4.	Завод «Счетмаш»	0 – 20	95,6 ±0,748	6,41* ±0,072	10,11* ±0,157	86,8* ±1,855	9,14* ±0,092	10,40* ±0,017	78,8* ±0,490	3,45 ±0,092	9,69* ±0,157
5.	Парк имени Ф.Э. Дзержинского	0 – 20	97,2 ±0,490	6,72* ±0,030	9,83* ±0,063	79,6 ±2,315	7,80* ±0,009	9,43* ±0,016	97,2 ±0,490	2,49* ±0,009	8,79 ±0,063
6.	«Курский кожзавод»	0 – 20	90,0* ±0,894	6,84* ±0,036	9,88* ±0,035	92,0* ±0,894	8,62* ±0,092	10,27* ±0,025	96,8 ±0,490	3,78* ±0,081	8,80 ±0,035
7.	«Курская городская ти- пография»	0 – 20	92,0* ±0,632	7,96* ±0,043	13,18* ±0,288	91,2* ±1,020	9,15* ±0,138	8,82* ±0,147	96,4 ±0,40	2,69* ±0,116	9,66* ±0,288

* средние значения тест-реакций достоверно отличающиеся (на 95% уровне значимости) от контроля (проба № 1 – территория Агробиостанции КГУ), на основании расчета t-критерия (критерия Стьюдента)

длины проростков овса и ячменя, но оказала стимулирующее действие на данный параметр для редиса. Для проб с территориями парка им. Героев Гражданской войны и завода «Счетмаш» отмечена стимуляция роста проростков овса и ячменя, также стимулирующее действие оказала проба с территории «Курского кожзавода» на данную тест-реакцию редиса. В то же время пробы с территориями парка им. Ф.Э. Дзержинского и предприятия «Курская городская типография» оказали ингибирующее действие на изучаемый параметр редиса.

При учете как тест-функции длины корня отмечено стимулирующее действие вытяжек всех проб на рост корня овса (по сравнению с контролем – агробиостанция КГУ), и за исключением с территории урочища Знаменская роща – на рост корня ячменя. Для данной тест-функции редиса, также как и для длины проростков редиса, получены неоднозначные данные. Так в пробах с территориями урочища Знаменская роща, завода «Счетмаш» и предприятия «Курская городская типография» наблюдается стимуляция этого параметра, а для пробы с территории парка им. Героев Гражданской войны его угнетение.

Таким образом, в результате фитотестирования были отмечены неоднозначные изменения длины проростков и корней как тест-реакции высших растений на одно и то же воздействие поллютантов. Наблюдалось достоверное ($P=0,05$) увеличение длины проростка и корня овса и ячменя, тогда как для редиса наблюдается неоднозначная реакция – как увеличение, так и снижение значений этих тест-функций. Это указывает на разницу в реакциях на загрязнение однодольных и двудольных растений при использовании их как тест-организмов в биотестировании.

Для получения сопоставимых результатов нами был предложен индекс фитотоксичности, рассчитываемый по формуле:

$$ИФ = \lg \left[\frac{(D_p + D_k + \mathcal{E}_\Pi)_{опыт}}{(D_p + D_k + \mathcal{E}_\Pi)_{контр.}} \right],$$

где D_p – длина ростка, D_k – длина корня, \mathcal{E}_Π – энергия прорастания. Результаты расчета индекса интегральной фитотоксичности представлены в таблице 5.

Комплексный индекс (ИФ), как видно по результатам, для культуры овса наиболее тесно ($R=0,89$, при уровне значимости $0,05$) коррелирует с Z_c , в то время как для редиса связь отсутствует, а для ячменя является наименее тесной. Среднее значение индекса, рассчитанное по трем культурам также коррелирует с Z_c ($R=0,68$, на уровне значимости $0,01$).

Таким образом, предложенный индекс интегральной фитотоксичности (ИФ) позволяет представлять воздействия вытяжек из загрязненных почв на тест-реакции высших растений более объективно.

Также для тест-культуры *Avena sativa* L. тесные положительные корреляционные зависимости наблюдались между тест-функциями (длина проростка, длина корня, энергия прорастания) и содержанием в урбаноземах г. Курка подвижных

форм фосфора, калия, гумуса и минеральных форм азота. Для тест-культуры *Hordeum vulgare* L. наиболее тесные связи установлены между тест-функциями и содержанием гумуса и аммонийного азота.

Таблица 5

Индекс интегральной фитотоксичности при биотестировании
серых лесных почв и урбанозёмов г. Курска

Место отбора почвенных проб	Z_c	Индекс фитотоксичности (ИФ)			ИФ _{ср}
		<i>Avena sativa</i>	<i>Hordeum vulgare</i>	<i>Raphanus sativus</i>	
Агробиостанция КГУ	2	1,12	1,19	1,10	1,14
Урочище Знаменская роща	3	1,14	1,24	1,13	1,17
Парк им. Героев Гражданской войны	12	1,24	1,38	1,11	1,24
Завод «Счетмаш»	33	1,24	1,35	1,22	1,27
Парк имени Ф.Э. Дзержинского	35	1,23	1,34	1,06	1,21
«Курский кожзавод»	24	1,27	1,31	1,11	1,23
«Курская городская типография»	57	1,36	1,29	1,11	1,25
Коэффициент корреляции с Z_c		0,89	0,59	Связь отсутствует	0,68

Установлены тесные положительные корреляционные связи между длиной корня овса, ячменя и редиса при проращивании в водных вытяжках урбанозёмов и со значениями валового содержания в почвах Zn, Cd, Pb и Cu. В результате регрессионного анализа получены серии уравнений, по которым возможно рассчитать отклик цветковых растений различной видовой принадлежности на воздействие поллютантов.

Для редиса при увеличении концентрации тяжелых металлов при высоких коэффициентах обратной корреляции отмечено снижение энергии прорастания и длины проростка. Так, зависимость энергии прорастания как тест-функции редиса от валового содержания меди описывается уравнением $y=95,731-0,0574 \cdot Cu$ ($K=-0,92$), от содержания подвижных форм меди $y=97,256-2,6304 \cdot Cu$ ($K=-0,81$), от содержания подвижных форм цинка $y=97,806-0,0577 \cdot Zn$ ($K=-0,58$), от содержания водорастворимых форм цинка $y=96,569-2,2657 \cdot Zn$ ($K=-0,81$). Зависимость

длины проростка как тест-функции редиса от содержания водорастворимых форм свинца описывается уравнением $y=3,647- 4,523 \cdot Pb$ ($K=-0,75$).

4.2. Альтотестирование серых лесных почв и урбанозёмов г. Курска

Результаты альтотестирования серых лесных почв и урбанозёмов представлены на рисунке 1.

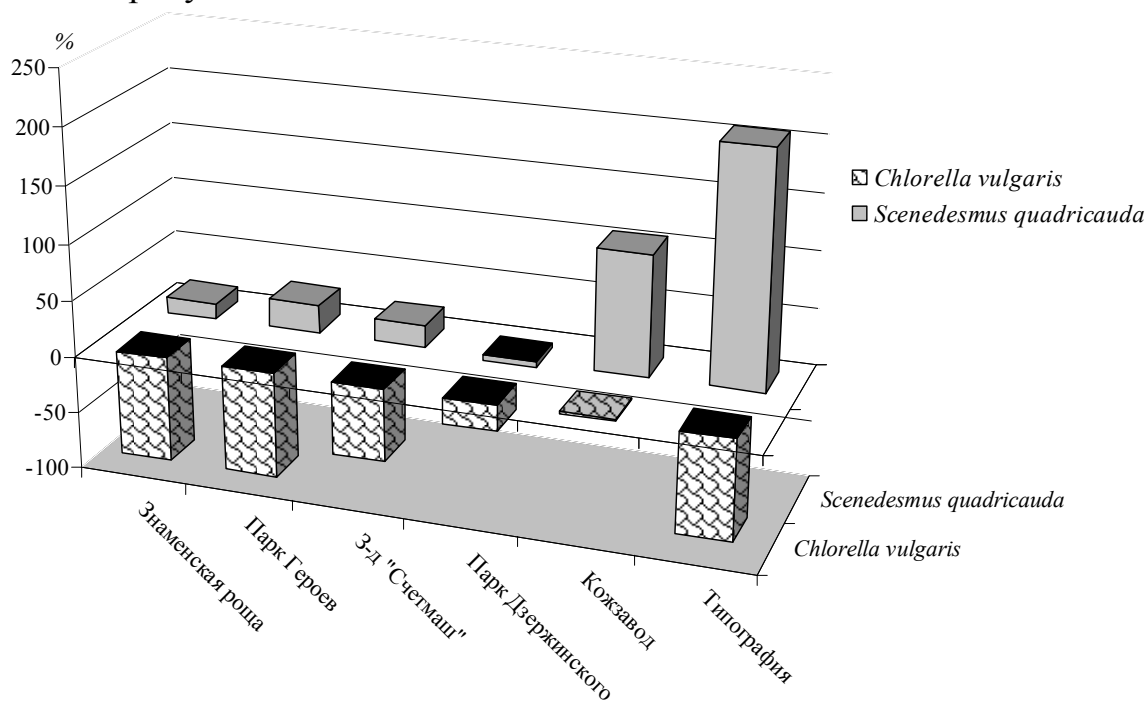


Рис. 1. Влияние водных вытяжек урбанозёмов на численность одноклеточных зеленых водорослей *Chlorella vulgaris* и *Scenedesmus quadricauda*

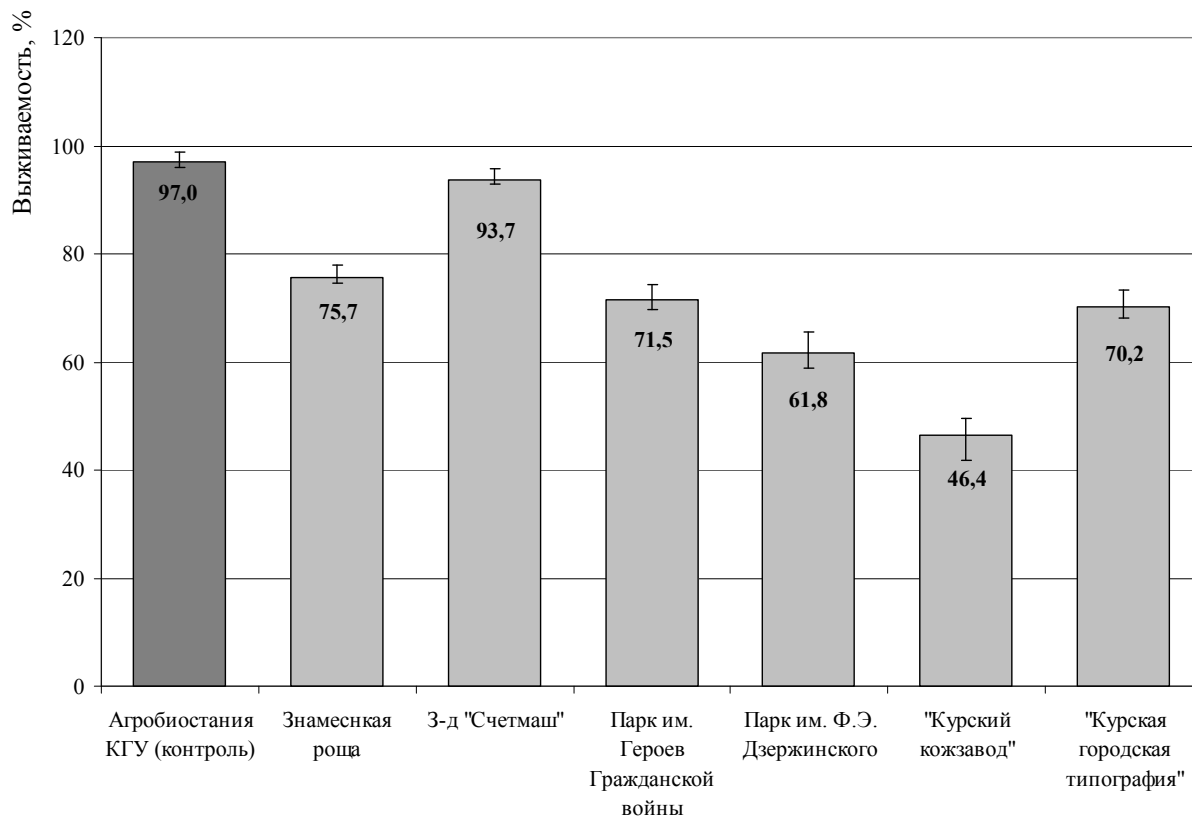
В результате альтотестирования по сравнению с контролем (агробиостанция КГУ) для всех проб, за исключением пробы с территории «Курского кожзавода», установлено достоверное ($P=0,05$) снижение численности клеток водоросли *Chlorella vulgaris*. Однако, за исключением территории завода «Счетмаш», отмечено достоверное ($P=0,05$) увеличение численности клеток водоросли *Scenedesmus quadricauda*.

Таким образом, оценка токсичности урбанозёмов методом альтотестирования также как и при фитотестировании показала неоднозначную реакцию зеленых одноклеточных водорослей различной видовой принадлежности на одно и то же воздействие поллютантов.

Были установлены положительные корреляционные связи между увеличением численности клеток *Scenedesmus quadricauda* и индексом суммарного загрязнения Z_C ($R = 0,88$). В то же время отмечалась отрицательная корреляционная связь между численностью клеток *Scenedesmus quadricauda* и содержанием гумуса и аммонийного азота в урбаноземах.

4.3. Зоотестирование серых лесных почв и урбанозёмов г. Курска с использованием простейших (*Paramecium caudatum*) и низших ракообразных (*Daphnia magna*)

Результаты биотестирования водных вытяжек серых лесных почв и урбанозёмов с использованием в качестве тест-организмов *Paramecium caudatum* представлены на рисунке 2.



Критерий токсичности: выживаемость ниже 90%; выживаемость ниже 50% - острая токсичность.

Рис.2. Влияние водных вытяжек серых лесных почв и урбанозёмов на выживаемость простейших *Paramecium caudatum*

Во всех пробах при тестировании природных объектов отмечается достоверное ($P=0,05$) снижение численности *Paramecium caudatum*. Проба территории «Курского кожзавода» вызвала острое токсическое действие на *Paramecium caudatum*. Остальные образы вызвали менее выраженное токсическое действие. При использовании инфузорий в качестве тест-организмов установлена высокая чувствительность к загрязнению: положительные корреляционные связи между снижением численности клеток и суммарным показателем загрязнения Z_C ($K = 0,74$). В тоже время низшие ракообразные *Daphnia magna* проявили высокую устойчивость к загрязнениям, о чем свидетельствует полное отсутствие летального эффекта при воздействии почвенных вытяжек.

Глава V. Оценка уровня токсичности модельно загрязненной серой лесной почвы методом биотестирования

С целью оценки количественного проявления тест-функции каждого выбранного тест-организма на различное содержание тяжелых металлов, было проведено тестирование искусственно загрязненных почв. Уровень загрязнения в лабораторных условиях создавался в соответствии с таковым в выбранных естественных объектах с учетом фонового содержания (таблица 4).

Таблица 4

Уровень создаваемого загрязнения серых лесных почв

Zn		Pb		Cu	
Уровень ПДК	Концентрация, мг/кг	Уровень ПДК	Концентрация, мг/кг	Уровень ПДК	Концентрация, мг/кг
2,5	250	1	32	1	55
5	500	1,5	48	2	110
7,5	750	2	64	3	165
10	1000	2,5	80	4	220
15	1500	3	96	5	275
17,5	1750	—	—	—	—
20	2000	—	—	—	—
25	2500	—	—	—	—
28	2800	—	—	—	—
ПДК*	100,0	ПДК*	32,0	ПДК*	55,0

* Почва, очистка населенных мест, бытовые и промышленные отходы, санитарная охрана почвы. Гигиеническая оценка качества почвы населенных мест. Hygienic evaluation of soil in residential areas. Методические указания МУ 2.1.7.730-99. Утв. главным санитарным врачом Российской Федерации Г.Г. Онищенко 07. 02. 1999 г. Введены 05. 04. 1999 г.

5.1. Фитотестирование модельно загрязненной серой лесной почвы

При фитотестировании модельно загрязненной серой лесной почвы учитывали энергию прорастания, длину корневой и стеблевой частей проростка. При возрастании валового содержания тяжелых металлов в модельных образцах почвы нами не отмечено однотипных реакций всех тест-растений на увеличение интенсивности воздействия отдельных металлов.

Энергия прорастания семян ячменя была достоверно ($P=0,05$) ниже по сравнению с контролем в вариантах с содержанием цинка от 2,5 до 28 ПДК. Однако не выявлено выраженного линейного характера уменьшения данной тест-функции при увеличении содержания цинка в почве. При использовании в фитотестировании семян овса и редиса не отмечено значимых для фитотестирования изменений тест-функции при возрастании металлиндуцированной нагрузки.

Для вариантов с возрастающим содержанием свинца в почве (от 1 до 3 ПДК) у всех тест-растений отмечено достоверное ($P=0,05$) снижение энергии прорастания семян. Показательно, что при фитотестировании урбаноземов так-

же отмечено снижение энергии прорастания семян ячменя и овса. Однако такая тест-реакция отмечена у ячменя при воздействии водных экстрактов из городских почв с содержанием свинца 1,5 ПДК. Соответствие характера ответной реакции семян овса на действие модельно загрязненной почвы и урбаногема отмечено при содержании свинца 2 и 3 ПДК.

При модельном загрязнении медью энергия прорастания снижалась у ячменя только в варианте с максимальным содержанием в 5 ПДК; для овса отмечено угнетение энергии прорастания семян и при 1 ПДК меди. Энергию прорастания семян овса также угнетали водные вытяжки урбаногемов, загрязненные при содержании меди 5 ПДК.

Угнетение энергии прорастания семян редиса отмечено во всех вариантах с модельным загрязнением почвы свинцом.

Достоверное уменьшение длины корневой и стеблевой части проростка семян ячменя отмечено во всех вариантах с внесением свинца. Аналогичные тест-реакции присутствовали и у овса во всех вариантах, но с модельным загрязнением цинком. У ячменя угнетение корневой части проростка наблюдалось только при 17,5 и 28 ПДК цинка в почве. Снижение роста стеблевой части у этого растения отмечено только в варианте с 17,5 ПДК цинка, так же как и при фитотестировании урбаногемов. Угнетение роста стебля и корня у редиса происходило только в вариантах с внесением цинка в количествах, соответствующих 7,5-28 ПДК и меди – 5 ПДК. Однако при таком содержании меди в почве у ячменя и овса отмечена достоверная стимуляция роста корней и стеблевой части проростка.

Увеличение длины стеблевой и корневой части проростка отмечено для ячменя в интервале концентраций цинка от 2,5 до 10 ПДК. Стимулирующее действие на данные характеристики проростков отмечено для овса и редиса во всех вариантах с использованием свинца как загрязнителя.

Таким образом, на основе анализа данных фитотестирования модельно загрязненных почв можно заключить, что наибольшей чувствительностью к загрязнителям по комплексу тест-реакций обладает овес. У этого растения наблюдалось угнетение роста корневой и стеблевой части проростка во всем диапазоне применяемых концентраций цинка; угнетение энергии прорастания семян при содержании свинца в почве от 1 до 3 ПДК и снижение энергии прорастания при значительном загрязнении медью (5 ПДК). В вариантах с использованием свинца и меди у овса отмечены тест-реакции, аналогичные вариантам с использованием урбаногемов г. Курска с одинаковым уровнем содержания этих металлов.

Семена редиса и ячменя также проявили некоторую отзывчивость на воздействие водных экстрактов почв, загрязненных в модельных условиях. Однако эти реакции не охватывали весь диапазон концентраций тяжелых металлов, не

носили комплексный характер как в варианте с овсом. В ряде случаев тест-реакции имели противоположный характер по сравнению с результатами фитотестирования урбаноземов.

5.2. Альготестирование искусственно загрязненной серой лесной почвы

Для всех металлов и по всем концентрациям установлено снижение численности водоросли *Scenedesmus quadricauda* от 92 до 96%.

Цинк в концентрациях 2,5 и 7,5 ПДК, а также свинец и медь во всех концентрациях вызывают угнетение численности клеток водоросли *Chlorella vulgaris*. Для цинка в концентрациях 17,5 и 28 ПДК отмечено стимулирующее действие на численность клеток данной тест-культуры. Цинк в концентрации 10 ПДК заметного влияния на *Chlorella vulgaris* не оказывал.

На основании полученных данных тестирования урбаноземов и искусственно загрязненных почв можно отметить, что *Chlorella vulgaris* не чувствительна к содержанию свинца в концентрации 2 ПДК, а тест-реакция ее как тест-объекта проявляется в снижении численности клеток.

Scenedesmus quadricauda как тест-объект не чувствителен к содержанию меди в концентрации 5 ПДК, в остальных вариантах тест-реакция его проявляется в стимуляции численности клеток.

ВЫВОДЫ

1. Изучение физико-химических свойств урбаноземов г. Курска показало высокую степень их неоднородности по гумусу, кислотности, содержанию минеральных форм азота, подвижных форм фосфора и калия.

2. Уровень загрязнения урбаноземов г. Курска достаточно высок, а приоритетным загрязнителем, по всем формам содержания, является цинк: валовое содержание его варьировало от 266 до 2777 мг/кг, содержание подвижных форм от 60 до 244 мг/кг, содержание водорастворимых форм от 0,25 до 6,9 мг/кг.

3. В урбаноземах г. Курска установлено превышение ПДК по валовому содержанию Pb и Cu, содержание которых достигало для Pb – 83 мг/кг, для Cu – 285 мг/кг; содержание подвижных форм (ацетатно-аммонийный буфер, pH=4,8) составило 38 мг/кг и 6 мг/кг соответственно, а водорастворимых – 0,18 и 0,008 мг/кг.

4. Уровень загрязнения исследуемых объектов, по коэффициенту Z_C , оценивается как опасный (Z_C от 53 до 110) и чрезвычайно опасный (Z_C от 173 до 265), а степень загрязнения урбаноземов оценивается как очень сильная.

5. Установлены тесные положительные корреляционные связи между длиной корня овса, ячменя и редиса при проращивании в водных вытяжках урбаноземов и валовым содержанием в почвах Zn, Cd, Pb и Cu.

6. Для тест-культуры *Avena sativa* L. тесные положительные корреляционные зависимости наблюдались между тест-функциями (длина проростка, длина корня, энергия прорастания) и содержанием в урбаноземах г. Курка подвижных форм фосфора и калия, гумуса, минеральных форм азота. Для тест-культуры *Hordeum vulgare* L. наиболее тесные связи установлены между тест-функциями и содержанием гумуса и аммонийного азота.

7. Предложенный индекс интегральной фитотоксичности (ИФ) тесно коррелировал с уровнем загрязнения почвы и позволил оценивать воздействие водных вытяжек урбанозёмов на тест-реакции цветковых растений более объективно.

8. Оценка токсичности изучаемых урбанозёмов методом альготестирования показала неоднозначную реакцию различных видов зеленых одноклеточных водорослей на загрязнение почв: происходила стимуляция численности клеток водоросли *Scenedesmus quadricauda* и угнетение численности клеток водоросли *Chlorella vulgaris*.

9. Установлены положительные корреляционные связи между увеличением численности клеток *Scenedesmus quadricauda* и индексом суммарного загрязнения Z_C ($R = 0,88$), в то же время отмечалась отрицательная корреляционная связь между численностью клеток *Scenedesmus quadricauda* и содержанием гумуса и аммонийного азота в урбаноземах.

10. При использовании *Paramecium caudatum* в качестве тест-культуры установлена высокая чувствительность к загрязнению: положительные корреляционные связи между снижением численности и суммарным показателем загрязнения Z_C ($R = 0,74$). Изучение токсичности урбанозёмов с использованием низших ракообразных показало высокую устойчивость *Daphnia magna* к загрязнениям, о чем свидетельствует полное отсутствие летального эффекта при воздействии почвенных вытяжек.

11. Из разных таксономических групп живых организмов наиболее чувствительными к загрязнениям изучаемых урбанозёмов являются: из высших растений – *Avena sativa* L., из одноклеточных зеленых водорослей *Chlorella vulgaris* и простейшие – *Paramecium caudatum*.

Предложения производству

1. Поскольку результаты фитотестирования могут быть неоднозначны для различных тест-организмов и тест-реакций, при оценке токсичности городских почв, экологическим службам города Курска рекомендуем учитывать отклик не менее трех тест-организмов и не менее трех тест-реакций. Целесообразно использовать предложенный нами коэффициент для формирования окончательных выводов о фитоэффектах.

2. При оценке токсичности загрязнений почв рекомендуем практиковать комплексное изучение объектов: не отказываться от химического анализа загрязненных почв и грунтов наряду с биотестированием, что в настоящее время в экологической практике довольно часто происходит, в связи с высокой стоимостью химических анализов.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

1. **Прусаченко А.В.** Загрязнения почв города Курска тяжелыми металлами // Курский край. 2008. № 3-4 (104-105). С. 65-69.
2. **Прусаченко А.В.** Особенности городских почв // Курский край. 2008. № 7-8 (108-109). С. 128-131.
3. **Прусаченко А.В.** Проблемы изучения городских почв // Научные исследования студентов и аспирантов в реализации национального проекта «Развитие АПК»: сборник материалов межвузовской научной студенческой конференции. Курск, 2008. С. 73 – 77.
4. **Прусаченко А.В.** Влияние загрязнения почв города Курска на растительные сообщества // Современная экология – наука XXI века: сборник материалов международной научно-практической конференции (январь 2008 г.). Рязань: РГУ, 2008. С. 84-87.
5. Проценко Е.П. Использование высших растений как тест-культур для биотестирования / Е.П. Проценко, **А.В. Прусаченко** // Агрэкологические проблемы повышения плодородия почв и продуктивности сельскохозяйственных культур: материалы научно – практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева» (май 2008 г.). Курск: Изд. центр ЮМЭКС, 2008. С. 32–36.
6. **Прусаченко А.В.** Биотестирование как метод экотоксикологической оценки антропогенного загрязнения // Проблемы экологии в современном мире: материалы VI международной конференции (март 2009 г.). Тамбов: Ивановский ГЭУ, 2009. С. 47–51.
7. **Прусаченко А.В.** Возможность использования биотестирования при загрязнении городских почв тяжелыми металлами // Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов: сборник трудов молодых ученых II Международного экологического конгресса ELPIT 2009 (IV Международной научно-технической конференции), 24-27 сентября 2009 г. Тольятти: ТГУ, 2009. Том 2. С. 154–160.
8. **Прусаченко А.В., Фитотестирование в оценке токсичности городских почв / А.А. Проценко, С.Ю. Миронов, И.А. Гриненко, Н.А. Клеева, А.В. Галяс // Экология урбанизированных территорий. 2010. № 2. С. 105–109.**

9. Прусаченко А.В., Ростовые реакции *Chlorella vulgaris* и *Scenedesmus quadricauda* при элюатном тестировании урбаноземов / Е.П. Проценко, С.Ю. Миронов, Н.А. Клева, И.А. Гриненко, А.В. Галяс // Проблемы региональной экологии. 2010. № 4. С. 61–65.

Прусаченко Андрей Викторович

ЭКОТОКСИКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЙ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ
УРБАНОЗЕМОВ ГОРОДА КУРСКА

Автореферат

ИД № 06248 от 12.11.2001 г.
Подписано в печать 14.02.2011 г.
Формат 60x90/16. Печать офсетная.
Объем 1,25 п.л. Тираж 100. Заказ 2360

Издательство Курского госуниверситета
305000, г. Курск, ул. Радищева, 33

Отпечатано в лаборатории информационно-методического обеспечения КГУ