

*На правах рукописи*



ПАРФЕНОВА Екатерина Анатольевна

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ СРЕДНЕГО  
ПОВОЛЖЬЯ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ**

**Специальность 03.02.08 – экология (биология)**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата биологических наук**

**Пенза – 2012**

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего профессионального образования “Пензенская государственная технологическая академия”, на кафедре “Биотехнологии и техноносферная безопасность”.

**Научный руководитель:**

**доктор биологических наук, доцент  
Ефремова Сания Юнусовна.**

**Официальные оппоненты:**

**доктор биологических наук,  
руководитель отдела научных проектов  
ООО «Агропарк»  
Пухальская Нина Витальевна;**

**кандидат биологических наук, главный  
специалист-эксперт Управления  
природных ресурсов и охраны  
окружающей среды Пензенской области  
Княжнева Елена Владимировна.**

**Ведущая организация:**

**ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский  
государственный аграрный университет».**

Защита диссертации состоится 22 марта 2012 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета ДМ 212.337.02 при Пензенской государственной технологической академии по адресу: 440039, г. Пенза, пр. Байдукова / ул. Гагарина, д. 1а/11, корпус 1, конференц-зал.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО “Пензенская государственная технологическая академия”.

Автореферат разослан 17 февраля 2012 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета



Яхкинд Михаил Ильич

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы.** Почва, являясь неотъемлемой частью любой наземной экосистемы, играет важную роль в поддержании устойчивости биосферы. Она также является индикатором природных процессов, а ее состояние – результат длительного воздействия разнообразных источников загрязнения.

Внешне признаки деградации почвы заметить сложно, поэтому изменения этой составляющей биосферы не вызывают особого беспокойства. Однако функциональная и биохимическая активность почвы может служить индикатором изменения экологической ситуации в целом.

В работах многих исследователей биологическая оценка была показана при высоких уровнях (более 10 ПДК) загрязнения почв (Звягинцев, 1976–1991; Денисова, 2005, 2006; Девятова, 2005, 2006; Егорова и др., 1991, 1996), а исследования невысоких уровней воздействия на почвенный покров в литературе отсутствуют. В связи с этим, в условиях лесостепи Среднего Поволжья актуальным является подбор биоиндикаторов загрязнения почв тяжелыми металлами, которые можно эффективно использовать для мониторинга экологической ситуации с использованием достаточно точных и нетрудоемких методик для выявления самых ранних стадий загрязнения.

**Целью исследований** является выявление закономерностей изменения состояния серых лесных почв Среднего Поволжья в условиях антропогенного загрязнения, а также возможностей применения биологических показателей в индикации состояния почвенного покрова.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Определить содержание тяжелых металлов (ТМ) Pb, Cd, Zn, Cu, Ni в почвенном покрове и оценить вклад различных источников их поступления.
2. Изучить закономерности изменения химических свойств серых лесных почв при загрязнении ТМ в зонах с различным уровнем загрязнения.
3. Выявить биологические показатели для использования в индикации загрязнения тяжелыми металлами серых лесных почв.
4. Определить содержание тяжелых металлов в продукции овощеводства, выращенной на территориях, сопредельных с автодорогами, и охарактеризовать санитарно-гигиеническое качество выращенной продукции.
5. Изучить значение зеленых насаждений в снижении негативного воздействия на почвенный покров.

**Научная новизна.** Впервые, в условиях лесостепи Среднего Поволжья на примере Пензенской области проведено комплексное многокомпонентное исследование, позволившее оценить загрязнение тяжелыми металлами серых лесных почв в результате воздействия транспортного и промышленного комплекса.

Проведен учет фоновых значений валовых и подвижных форм ТМ (Pb, Cu, Zn, Cd) в почве и их изменений под воздействием техногенного фактора. Установлено, что почвы лесостепи Среднего Поволжья характеризуются значительной вариабельностью содержания валовых и подвижных форм ТМ. Изучено изменение основных свойств серых лесных почв в результате длительных

техногенных воздействий и оценена устойчивость почв к деградации в этих условиях. Выявлены закономерности изменения биологической активности серых лесных почв в условиях загрязнения ТМ. Установлено, что микробиологическая и ферментативная активность почв могут быть использованы как диагностические показатели экологического состояния почв, испытывающих интенсивное антропогенное влияние.

**Практическая значимость исследований.** Данные о содержании ТМ (Pb, Zn, Cd, Cu) в почвах, полученные в ходе исследования, могут быть использованы при проведении экологического мониторинга на территории г. Пензы и служить критерием оценки степени антропогенной нагрузки.

Показана реальная возможность использования показателей микробиологической и ферментативной активности серой лесной почвы для оценки экологического состояния.

Выявленные закономерности могут быть использованы при оценке качества городской среды, для определения зон экологического бедствия, разработки стратегии рационального использования территории, оценки эффективности природоохранных мероприятий.

**Реализация и внедрение результатов исследований.** Теоретические положения и результаты исследований внедрены и используются в учебном процессе на кафедре “Биотехнологии и техносферная безопасность” ПГТА и включены в содержание учебных пособий “Мониторинг окружающей среды”, “Экологическая экспертиза, оценка воздействия на окружающую среду”, “Методы и приборы контроля окружающей среды, и экологический мониторинг”. Результаты работы в части применения биологических показателей экологического состояния почв (микробный комплекс и активность ферментов) в практике экологического мониторинга используются в производственном процессе лаборатории биомониторинга и биотестирования РЦГЭЖиМ по Пензенской области ФГУ ГосНИИЭНП.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

- Зависимость содержания тяжелых металлов (Pb, Zn, Cd, Cu) в верхнем плодородном слое серых лесных почв от расположения относительно источника выбросов (промышленно-транспортного комплекса).
- Оценка влияния исследованных источников техногенного воздействия на химические и биологические свойства серых лесных почв.
- Обоснование использования микробиологических и биохимических показателей экологического состояния почв при оценке воздействия загрязнения почв ТМ, биомониторинге и биодиагностике почв.
- Зависимость содержания ТМ (Pb, Zn, Cd, Cu) в почве при воздействии выбросов транспорта от наличия зеленых насаждений.
- Зависимость содержания ТМ (Pb, Zn, Cd, Cu) в овощной продукции от содержания их в почве.

**Апробация работы.** Результаты исследований докладывались на Всероссийской научно-технической конференции “Информационные технологии и сис-

темы в науке, образовании, промышленности” (Пенза, 2009); Международной научно-практической конференции “Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК” (Брянск, 2010); Международной научной конференции “Вопросы повышения урожайности сельскохозяйственных культур” (Иваново, 2011); Международной научной конференции “Математические методы в технике и технологиях” (Киев, 2011); 5-й Всероссийской научно-практической конференции “Состояние среды обитания и фауна охотничьих животных России” (Москва, 2011).

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы изложены в 11 публикациях, включая 3 работы в рецензируемых научных журналах, рекомендованных ВАК.

**Личный вклад автора.** Все результаты, составляющие содержание диссертации, получены автором самостоятельно. Научному руководителю принадлежит разработка концепции решаемой проблемы и постановка задач исследования. Автор лично проводил экспериментальные исследования, обрабатывал, интерпретировал и обобщал полученные результаты, формулировал выводы.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, 7 глав и выводов. Работа изложена на 125 страницах машинописного текста, содержит 28 таблиц, 16 рисунков, 2 приложения. Список использованной литературы включает 215 источников, в том числе 17 на иностранных языках.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность работы, сформулированы цели и задачи исследования, раскрыты научная новизна и практическая значимость. Представлены положения, выносимые на защиту.

**Глава 1. Тяжелые металлы в почве: поступление, трансформация, миграция, биоиндикация (обзор литературы)**

Проведен анализ современного состояния изученности проблемы влияния промышленного и транспортного загрязнения на свойства серых лесных почв и методов их диагностики, на основе которого определены цели и задачи исследования.

**Глава 2. Природные условия и методы исследования**

Рассмотрены природные условия на территории лесостепи Среднего Поволжья, приведены характеристики почвенного покрова, климата и растительности. Сформулированы объект и методы исследования.

В соответствии с поставленными задачами, основным объектом исследований явился почвенный покров (естественные и техногенные ландшафты). Почвенный покров представлен, в основном, серыми лесными почвами различного гранулометрического состава. Для его изучения на территории г. Пенза и Пензенской области были исследованы почвы различной степени загрязнения, было проведено зонирование точек пробоотбора на зоны по территориальному принципу: 1 – промышленная (“Пензмаш”, ТЭЦ-1); 2 – транспортная (федеральная и областная автомагистраль); 3 – агроландшафты (“Агрокомплекс Терновский”, п. Леонидовка).

Исследования проводились стационарными методами наблюдений в сочетании с вегетационными опытами. Для оценки геохимического состава верхнего слоя почв исследуемой зоны образцы отбирали согласно ГОСТ 17.4.4.02-84. Места отбора проб определяли согласно Методическим указаниям 2.1.7.730-99. Отбор образцов почв производили на расстоянии 2, 5, 10, 50, 100, 500, 1000, 2000 м от источника загрязнения буром Малькова. На каждом из расстояний определяли 3 точки отбора проб, находящиеся на расстоянии 3–4 м между собой. Одна смешанная проба составлялась из 5 точечных, отобранных с глубины 0–15 см общим весом 400 г. Всего было отобрано 535 образцов верхнего слоя почвы. В качестве контроля использовались образцы почвы, отобранные на территории Ахунского лесничества.

Определение ТМ в образцах почвы проводили в зависимости от источника загрязнения, в сравнении с фоновыми значениями на незагрязненной почве. В качестве фона была выбрана серая лесная почва такого же гранулометрического состава, с примерно одинаковым содержанием гумуса (2,2–2,8%),  $pH_{KCl}$  (5,1–5,25), находящаяся в 20 км от мест исследования.

Почва и растения подвергались анализу в лаборатории ГЦАС “Пензенский”. Все наблюдения, анализы и учеты проводили общепринятыми методами:

- содержание гумуса по ГОСТу 26213-91;  $pH_{сол}$  потенциметрически (ГОСТ 26483-85); сумму поглощенных оснований – по Каппену-Гильковицу (ГОСТ 27821-88); гидролитическую кислотность – по Каппену (ГОСТ 26212-91);

- активность ферментов, каталазы – по Джонсону и Темпле (1964), протеазы – по Леду и Батлеру (1972), инвертазы – по Чундеровой (1971), уреазы – по Щербаковой (1983), в изложении Хазиева (1990);

- общая численность микроорганизмов (Звягинцев, 1980);

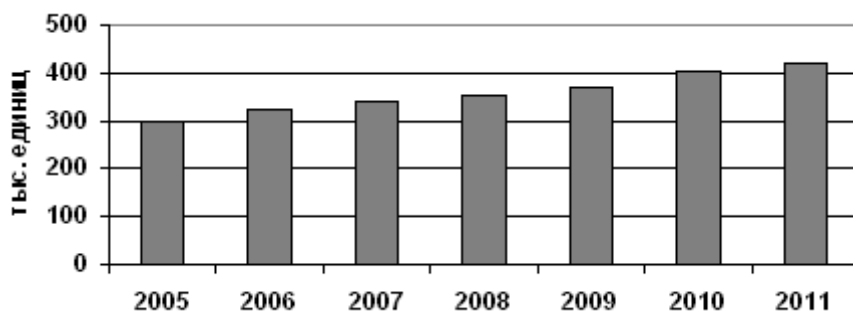
- валовые формы ТМ определяли в 1,0 Н HCl на атомно-абсорбционных спектрофотометрах “Спектр-5-1” и ААС. Подвижные формы Pb и Cd определяли в ацетатно-аммонийной вытяжке с  $pH = 4,8$  по методике РД 52.18.191-89.

Статистическая обработка экспериментальных данных осуществлялась методами корреляционного и регрессионного анализа (Доспехов, 1985) с использованием пакетов прикладных программ для статистической обработки Excel и Statistica 7.0.

### **Глава 3. Оценка антропогенной нагрузки на серые лесные почвы региона**

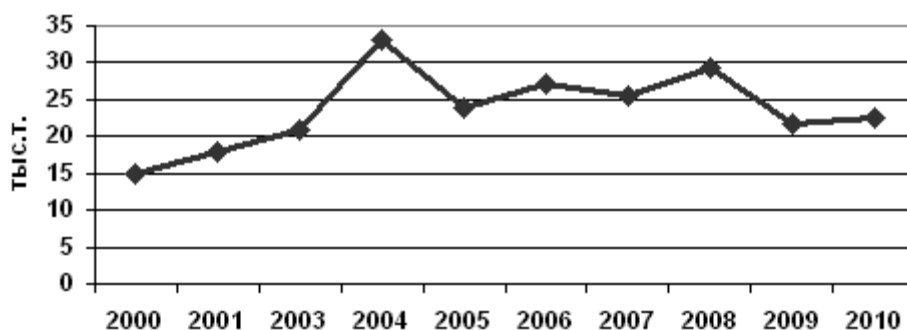
Проведенная оценка антропогенной нагрузки на исследуемый объект показала, что источниками загрязнения окружающей среды продолжают оставаться промышленность и автомобильный транспорт.

В последнее десятилетие идет прогрессивный рост количества автотранспорта (в среднем на 30–40% ежегодно). Загрязнению от автотранспорта подвержены не только пространства, прилегающие к автодорогам (100–200 м), но и места проживания людей и другие территории (дворы, автостоянки, детские площадки). Динамика роста количества автотранспорта в Пензенской области представлена на рис. 1.



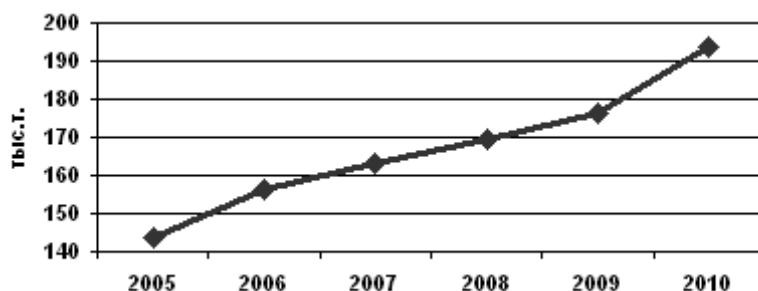
**Рис. 1. Динамика роста количества единиц автотранспорта, тыс./год**

Экстремального уровня загрязнения атмосферного воздуха в регионе за последние годы не наблюдалось, но в целом отмечается тенденция к увеличению уровня загрязнения стационарными источниками на 7,5 % (рис. 2).



**Рис. 2. Валовые выбросы загрязняющих веществ промышленными предприятиями Пензенской области, тыс. т/год**

Доля выбросов от автотранспорта в области составляет 70 %. За счет увеличения количества единиц автотранспорта в г. Пензе выбросы от них выросли с 143 тыс. т / год в 2005 г. до 194 тыс. т / год в 2010 г., из них 85 % составляют выбросы легковых автомобилей (рис. 3).



**Рис. 3. Валовые выбросы загрязняющих веществ от автотранспорта, тыс. т/год**

Наиболее опасными загрязняющими веществами в составе выбросов автотранспорта и промышленных объектов являются ТМ, среди которых свинец, кадмий и цинк, так как они относятся к первому классу опасности. Попадая в почву, они аккумулируются в большей степени, чем в атмосфере и природных водах, а постоянное поступление даже в малых количествах может привести к накоплению.

Однако, несмотря на возросший уровень техногенной нагрузки, изученность загрязнения почв тяжелыми металлами в регионе остается низкой.

**Транспортное загрязнение** обнаружено вдоль дорог федерального и областного значения. Пенза является крупным железнодорожным узлом, с юга к городу подходит линия Юго-Восточной железной дороги; на север, запад и восток отходят линии Куйбышевской железной дороги.

Изучение влияния железнодорожного транспорта в пригородной зоне показало, что на расстоянии 5–20 м от железнодорожного полотна в слое почвы 0–15 см отмечается повышенное содержание Pb, Zn, Cu, и Ni. Превышение предельно-допустимых концентраций (ПДК) установлено по кадмию в 1,7–6,7 раз, свинцу – в 1,3–3,0 раза, цинку – в 1,8 раза, меди – в 1,4–1,9 раза, никелю – в 1,8 раза (рис. 4).

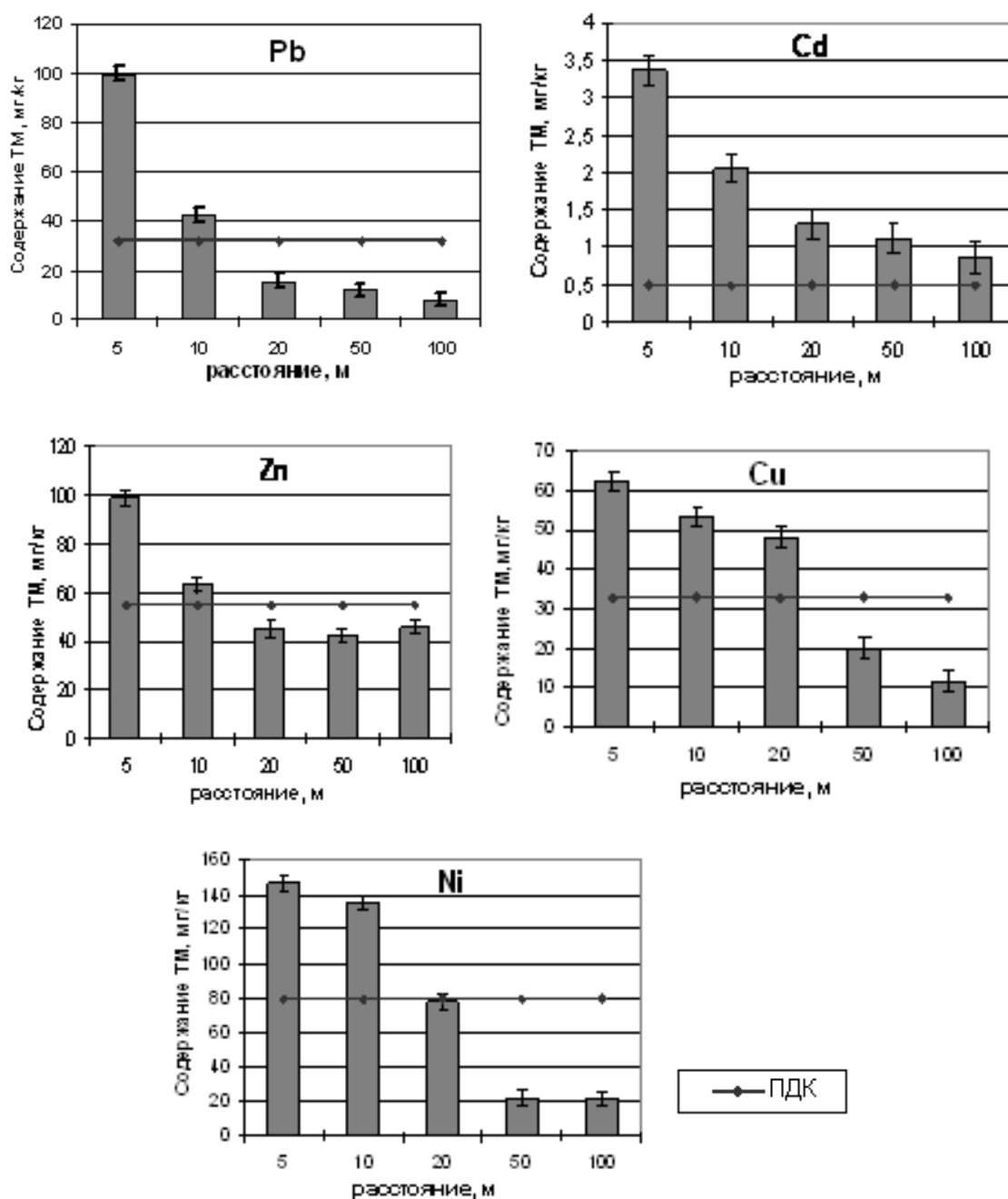


Рис. 4. Содержание ТМ в серой лесной почве в зависимости от удаления от железнодорожного полотна, мг/кг. Планки погрешностей при  $p = 0,05$



Вдоль автотранспортных магистралей в результате интенсивного движения транспорта образуются своеобразные техногенные аномалии. В черте города Пензы проходит Федеральная автомобильная дорога М5 “Урал” (Москва – Челябинск), от города отходит автодорога 1Р-209 Пенза – Тамбов, а в нескольких километрах от Пензы проходит автодорога Саратов – Нижний Новгород. Сеть автомобильных дорог области составляет 9523 км. Плотность автодорог общего пользования с твердым покрытием составляет 151 км на 1000 кв. км территории, их удельный вес – 99,95 %. Выхлопные газы автомашин дают основную массу свинца, износ шин – цинка, дизельные моторы – кадмия.

Для оценки влияния загрязнения автомобильного транспорта на состояние почвенного покрова нами в течение 2007–2009 гг. проведено исследование содержания ТМ (Pb, Zn, Cu, Cd, Ni) в образцах почвы территории, прилегающей к федеральной автомагистрали М5 “Москва – Челябинск”.

Результаты свидетельствуют о том, что большая часть ТМ находилась в пределах и ниже допустимых концентраций (рис. 5), вместе с тем в непосредственной близости к автомагистрали отмечалось превышение ПДК по Cu до 3 раз, по Ni – до 1,6 раз и незначительное превышение по Cd и Pb – в 1,1 раза.

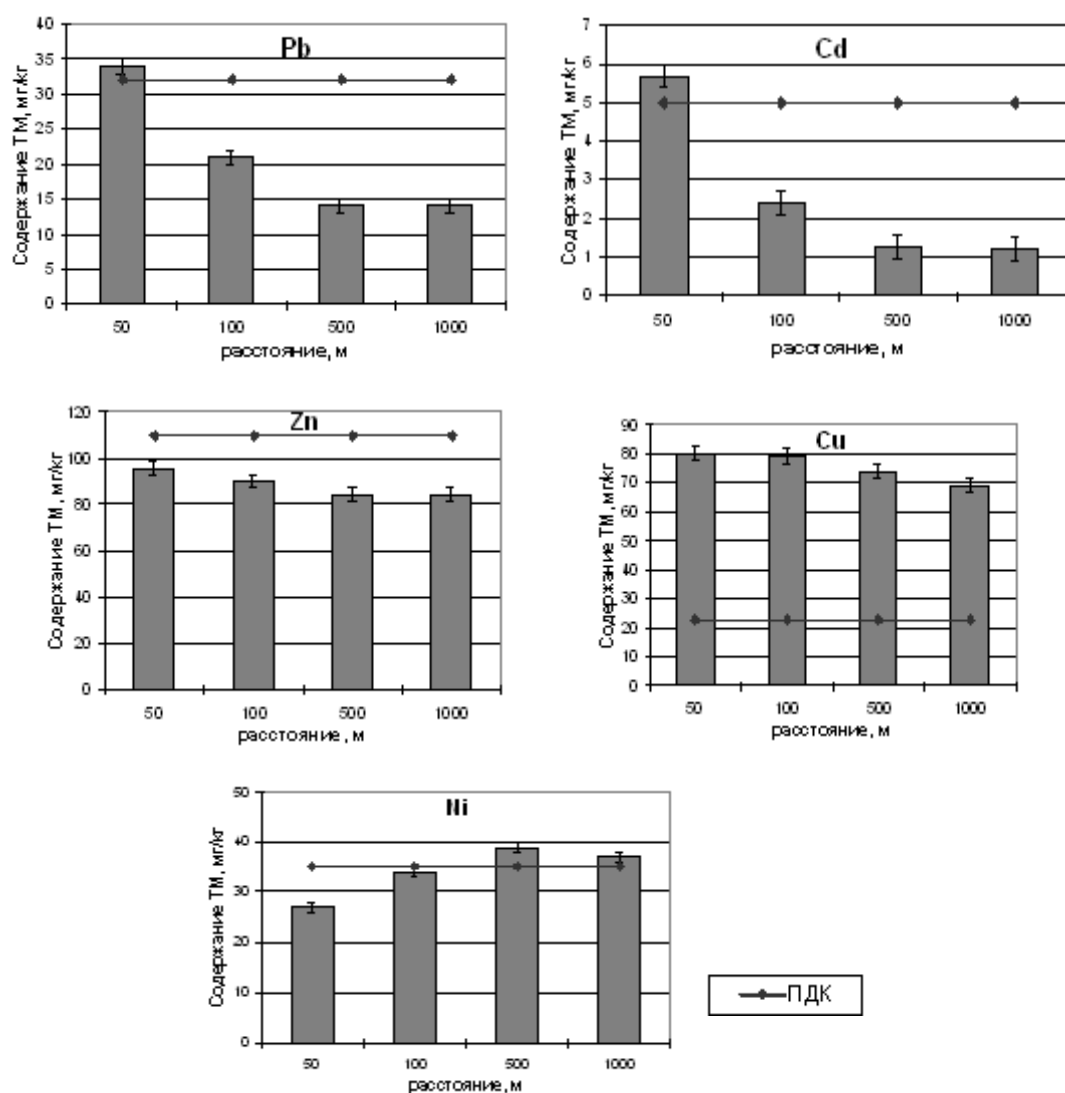


Рис. 5. Содержание ТМ в почве в зависимости от удаления от кромки автомагистрали, мг/кг. Планки погрешностей при  $p = 0,05$

Валовое содержание ТМ в почве является фактором емкости, отражающим, в первую очередь, потенциальную опасность загрязнения продукции. В связи с этим А. Финк (1982) рассматривает шкалу нормирования по количеству валовых форм ТМ как сугубо приблизительную.

Результаты анализа почвенных проб, отобранных с прилегающей к АЗС территории, на содержание в ней ТМ (Pb, Zn, Cu) показали (рис. 6), что в серой лесной почве содержание подвижных форм превышает ПДК по меди в 1,38 раза, свинца – в 3,46 раза. Содержание цинка ниже уровня ПДК в 2,4 раза.

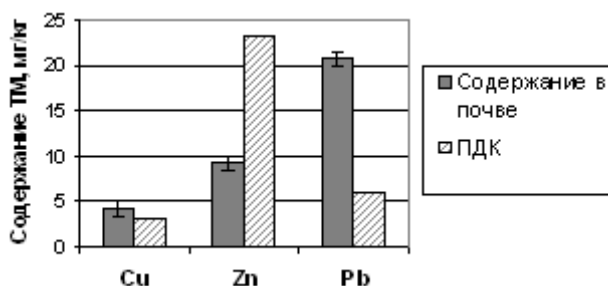


Рис. 6. Содержание подвижных форм ТМ в почвенных образцах территории АЗС, мг/кг. Планки погрешностей при  $p = 0,05$

**Промышленная зона.** Газопылевые выбросы предприятий создают мощные техногенные потоки токсичных веществ на поверхность почв и растений, вызывая их загрязнение.

Исследования, проведенные в районе влияния промышленных объектов, показали, что почвенный покров незначительно загрязнен ТМ (Pb, Zn, Cu, Cd), содержание их в почве не превышает ПДК (рис. 7).

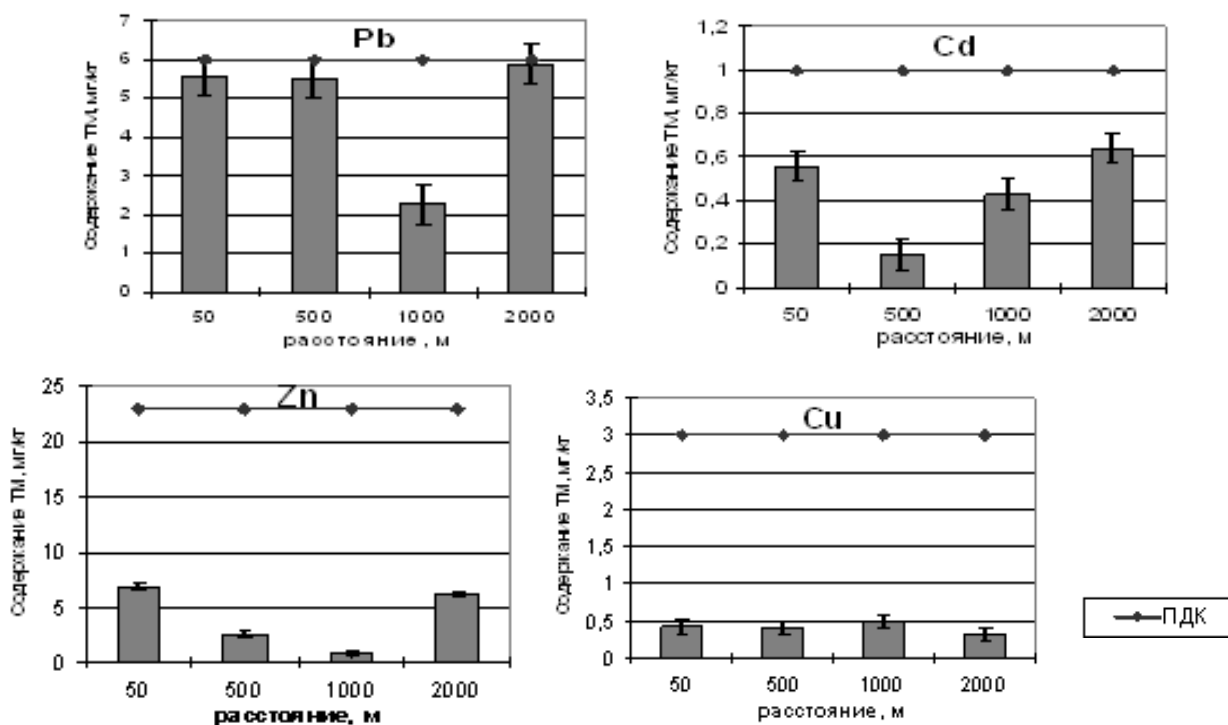
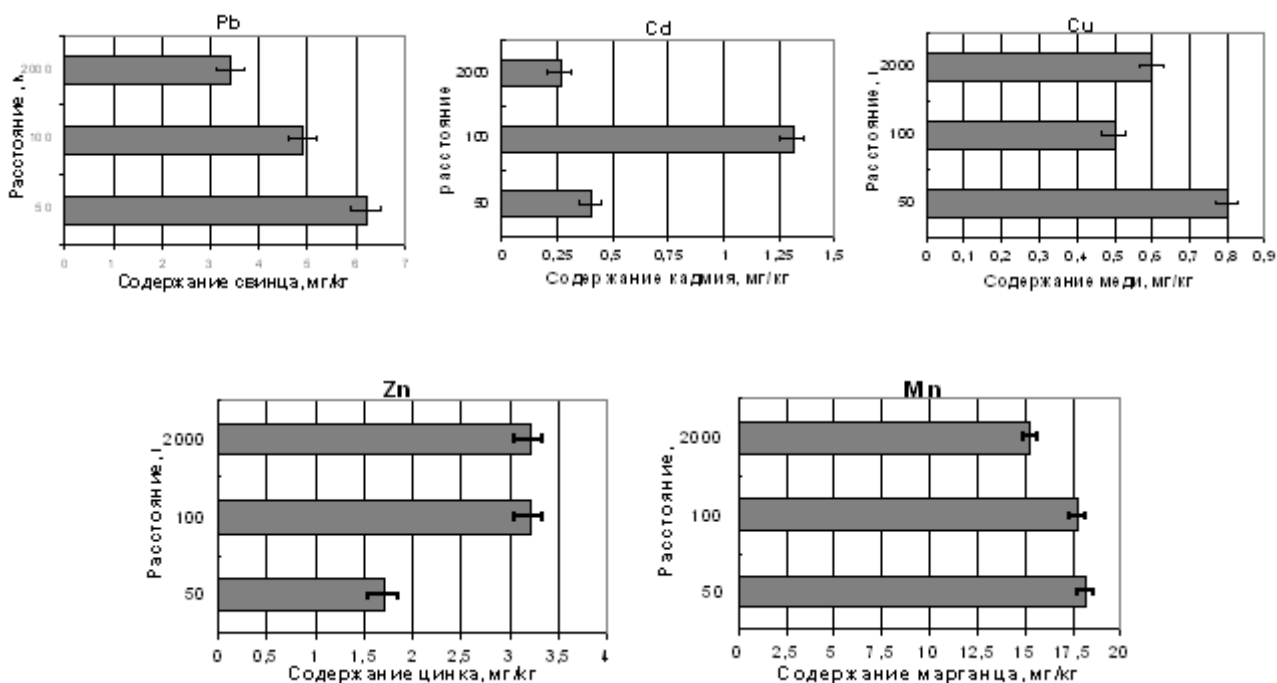


Рис. 7. Содержание подвижных форм ТМ в образцах почвы в зоне влияния промышленности, мг/кг. Планки погрешностей при  $p = 0,05$

Исследования влияния объекта энергетики показали (рис. 8), что на различных расстояниях от него содержание цинка, марганца и меди не превышают ПДК, но на расстоянии 50 м от источника содержание ТМ было выше, чем при удалении от этих объектов. Содержание свинца, кадмия и кобальта превышало ПДК в 1,6–2,0 раза.



**Рис. 8. Содержание подвижных форм ТМ в почве в зависимости от расстояния (м) от ТЭС-1. Планки погрешностей при  $p = 0,05$**

*Агроландшафты* города и области в определённой мере несут антропогенную нагрузку, поверхностный слой почвы подвергается как локальному, так и региональному загрязнению вследствие воздушного переноса поллютантов на большие расстояния. Происходит загрязнение почвенного покрова промышленных и сельскохозяйственных территорий (Кудло, 1976; Орлов, Малинина, Мотузова, 1991; Амосова, Трофимов, Суханова, 1999; Малина, Шленская, 1999; Прокошева, 2000).

По эколого-токсикологической оценке на 01.01.2010 г. пахотные почвы области имеют, в основном, низкий и допустимый уровень валового содержания ТМ, однако не всегда соответствуют необходимым требованиям для выращивания экологически чистой продукции.

Анализ материалов ГЦАС “Пензенский” по 15 реперным объектам почв области и опубликованных статистических данных на 01.01.2010 г. свидетельствует о негативной тенденции в изменении содержания ТМ. Отмечается значительное варьирование всех изученных элементов, наименьшая вариабельность характерна для ртути, содержание которой превышает минимальное в 1,8 раза, наибольшая для цинка – в 12,7 раз. Полученные данные характеризуют проблемную экологическую ситуацию по фоновому загрязнению ТМ почв области.

Несмотря на то, что среднее содержание ТМ еще далеко от экстремально-го, скорость их аккумуляции вызывает беспокойство (табл. 1). Поэтому необходимо оценить влияние сельскохозяйственного использования почв на процессы аккумуляции ТМ в верхних горизонтах пахотных почв.

Табл. 1. Содержание ТМ в почвах области за период 1990–2010 гг.

Элемент	Содержание, мг/кг почвы			ПДК, мг/кг
	1990 г.	2000 г.	2010 г.	
Mn	319	323	470	1500
Zn	41	43,17	45,7	110
Pb	14	14,65	14,9	32
Cu	13	13,97	14,7	100
Ni	37	38,8	38,6	85
Hg	0,006	0,0153	0,0198	2,1
Cd	0,19	0,2283	0,232	5,0

В настоящее время отмечается увеличение содержания ТМ в пахотном слое почв, которое возрастает в ряду  $Cd < Hg < Ni < Cu < Pb < Zn < Mn$  и изменяется от 0,0090 до 0,4 мг/кг почвы в год. Эти данные согласуются с исследованиями, выполненными для почв Центрального черноземного округа, в которых также отмечают рост загрязнения региональных почв (Глазовская, 1988; Щербаков, Васенев, 1996).

В пригородных овощеводческих хозяйствах, в связи с их территориальным расположением в непосредственной близости к городу и спецификой производства, возрастает антропогенная нагрузка на почвы, и создаются предпосылки для обострения экологической ситуации.

Анализ данных содержания ТМ в агроландшафтах (“Агрокомплекс Терновский”) показал, что в большинстве почвенных образцов количество ТМ не достигало гигиенически опасного уровня (рис. 9).

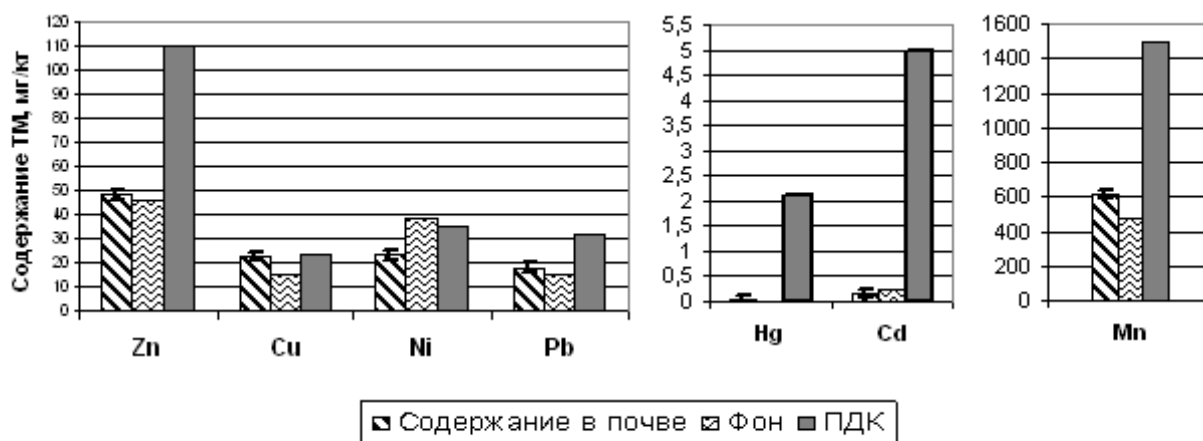


Рис. 9. Содержание ТМ в почвенных образцах агроландшафта, мг/кг почвы. Планки погрешностей при  $p = 0,05$

Вместе с тем установлено превышение фона по Mn, Pb, Zn, Cu, Hg, что позволяет оценить обстановку как достаточно опасную, ввиду того, что в почве аккумулируется не один, а несколько металлов, что говорит о полиметаллической форме аккумуляции.

Таким образом, приведенные данные позволяют заключить, что серые лесные почвы, расположенные вблизи источников загрязнения, способны накапливать поллютанты в количествах, близких к ПДК и даже превосходящих их. Также почвы характеризуются значительной вариабельностью содержания валовых и подвижных форм ТМ.

#### Глава 4. Изучение влияния техногенного загрязнения на химические свойства почвы

В настоящее время известно, что большинство выбросов сосредотачивается на поверхности почвы, где происходит их постепенное накопление, приводящее к изменению её физико-химических свойств (Гармаш, Графская, Гармаш, 2002).

Исследование химических свойств светло-серых супесчаных почв в зоне влияния промышленного объекта показало, что существенных различий по содержанию гумуса в зависимости от антропогенной нагрузки не обнаружено.

Содержание обменно-поглощенного Са составляет 7,1–7,6 мг-экв/100 г почвы. Доля Са составляет 82–80 % в сумме поглощенных оснований. Гидролитическая кислотность – 3,0–3,3 мг-экв/100 г почвы. Значение рН<sub>ксл</sub> снижалось с 4,9 до 5,1 ед. с удалением до 500 м (табл. 2).

Анализ изменений химических свойств светло-серой почвы в зависимости от удаленности от объекта выбросов теплоэнергетики показал, что наиболее значимые изменения в кислотно-основных свойствах почвы прослеживаются на расстоянии 100–200 м. (табл. 3).

Табл. 2. Химические свойства почвы (слой 0–15 см) в зависимости от расстояния от промышленного объекта (“Пензмаш”)

Расстояние, м	Гумус, %	Са	Mg	H <sub>г</sub>	V, %	рН <sub>ксл</sub>	рН <sub>н2о</sub>
		мг-экв/100г почвы					
50	2,28	7,1	1,6	3,3	72,7	4,9	5,6
100	1,92	4,9	1,4	3,1	75,0	5,1	5,8
500	2,39	7,6	1,9	3,0	76,0	5,1	5,8
НСП <sub>05</sub>	F <sub>a</sub> <F <sub>05</sub>	0,26	0,14	0,29	–	0,19	0,24

Табл. 3. Химические свойства почвы (слой 0–15 см) в зависимости от расстояния от ТЭЦ-1

Расстояние, м	Гумус, %	Са	Mg	H <sub>г</sub>	V, %	рН <sub>ксл</sub>	рН <sub>н2о</sub>
		мг-экв/100г почвы					
50	2,33	7,13	1,58	3,44	71,7	4,75	5,32
100	2,31	7,22	1,63	3,32	72,7	4,89	5,59
500	2,35	7,48	1,84	3,07	75,2	5,08	5,77
НСП <sub>05</sub>	F <sub>a</sub> <F <sub>05</sub>	0,29	0,13	0,31	–	0,23	0,27

С удалением от источника загрязнения увеличиваются показатели рН<sub>ксл</sub> и рН<sub>н2о</sub> происходит снижение кислотности почвенного раствора.

Содержание обменно-поглощенного Са по сравнению с почвой, не испытывающей кислотного воздействия, снизилось на 0,5 мг-экв/100 г почвы, Mg – на 0,36 мг-экв/100 г почвы. В виде тенденции различия сохраняются до расстояния 500–1000 м от объектов выбросов.

Анализ данных по химическим свойствам почвы в зависимости от удаления от объектов выбросов показал, что обменно-поглощенный магний теряется интенсивнее, его потери на расстоянии 50 м от источника выброса составили 18,56 %, а Ca – 6,55 %, т. е. в 2,8 раза выше. Уровень гидролитической кислотности возрос на 0,34–0,46 мг-экв. Указанные изменения вызвали снижение степени насыщенности основаниями на 3,5–4,5 %.

Изучение химических свойств светло-серой супесчаной почвы в зоне влияния автомагистрали показало, что они определяются уровнем воздействия техногенного загрязнения, которое зависит от расстояния до источника загрязнения. По мере приближения к дороге возрастает как актуальная, так и обменная кислотность (табл. 4).

**Табл. 4. Изменение химических показателей почвы (слой 0–15 см) в зависимости от удаления от автомагистрали**

Расстояние, м	Гумус, %	S	H <sub>r</sub>	V, %	pH <sub>KCl</sub>	pH <sub>H2O</sub>
		мг-экв/100г				
5	–	12,4	3,67	70,2	4,58	5,32
50	2,33	12,9	3,44	78,9	4,89	5,89
100	2,31	13,1	3,32	79,8	4,96	5,72
1000	2,40	14,2	3,02	82,9	5,11	5,85
НСР <sub>05</sub>	–	0,081	0,031	0,529	0,024	0,023

Показатель pH<sub>KCl</sub> возрастал с 4,58 ед. при 5 м от кромки до 5,11 ед. на контроле. Аналогично изменялись актуальная и гидролитическая кислотности. Сумма поглощенных оснований изменялась от 14,2 до 12,4 мг-экв/100 г почвы в зависимости от удаления от кромки автомагистрали. Существенно снижалась степень насыщенности почв основаниями с 82,9 до 70,2 % соответственно. Содержание гумуса в почве по мере удаления от дороги до 1000 м увеличилось на 0,07 % по сравнению с количеством его в образце, взятом в 5 м от объекта.

Таким образом, антропогенное воздействие вызывает снижение сумм поглощенных оснований и рост кислотности почвенного раствора. Это проявляется на расстоянии до 2 км от источника выброса. Согласно данным корреляционного анализа, между уровнем кислотности почвы pH<sub>KCl</sub> и удаленностью имеются корреляционные зависимости, которые описаны соответствующими уравнениями (табл. 5).

**Табл. 5. Результаты корреляционного анализа зависимости влияния ТМ на реакцию почвенного раствора**

Зона исследования	Уравнения корреляции для pH <sub>KCl</sub>	
	«Пензмаш»	$y = 4,6909x^{0,0143}$
ТЭЦ-1	$y = 4,2704x^{0,0282}$	R = 0,98
автомагистраль	$y = 4,4699x^{0,0207}$	R = 0,98

При помощи корреляционного анализа было установлены зависимости влияния ТМ на реакцию почвенного раствора и гумус серой лесной почвы, которые описаны соответствующими уравнениями (табл. 6). Данные анализа свидетельствуют о том, что изменение химических характеристик почвы тесно связано с концентрацией ТМ.

**Табл. 6. Результаты корреляционного анализа связи концентрации ТМ и показателей химических свойств почвы**

ТМ	Гумус		рН <sub>КС1</sub>	
Pb	$y = -21,672x + 55,746$	R = 0,96	$y = -0,1022x + 5,4864$	R = 0,96
Cd	$y = -0,5672x + 1,8076$	R = 0,39	$y = -1,2261x + 5,5711$	R = 0,79
Zn	$y = -38,015x + 112,31$	R = 0,87	$y = -0,0542x + 6,2393$	R = 0,99
Cu	$y = 5,0672x - 9,6276$	R = 0,74	$y = 0,1021x + 4,7555$	R = 0,30

Данные анализа свидетельствуют о том, что изменение химических характеристик тесно связано с концентрацией ТМ (гумус – Pb > Zn > Cu > Cd; рН<sub>КС1</sub> – Zn > Pb > Cd > Cu).

### **Глава 5. Показатели биологического состояния почв в диагностике загрязнения объектов исследований**

Экологический или биологический подход при оценке состояния экосистем рассматривает экосистему как единое целое, и оценка её состояния в условиях антропогенных нагрузок заключается в определении эффекта от внешнего воздействия. Показателями состояния при этом являются не уровень содержания поллютантов в компонентах экосистемы, а характеристики её микробиоты, регистрируемые методами биоиндикации.

Многочисленные микроорганизмы, населяющие почву, относятся к различным систематическим группам. Основная масса почвенных микроорганизмов – бактерии, актиномицеты, грибы и т.д. Показатель общей численности основных групп микроорганизмов характеризует потенциальный запас микроорганизмов и может служить показателем биологического состояния, применяемым в экологической оценке почв.

Результаты исследования по изучению влияния ТМ на микробное сообщество почвы показали, что численность основных их групп (аммонификаторов, иммобилизаторов азота, олигонитрофилов, целлюлозоразрушающих, актиномицетов) была гораздо ниже в почвенных образцах техногенных ландшафтов, чем естественных (табл. 7). Численность почвенных грибов значительно варьировала на контроле и в опытных образцах с объектов, но тенденции к ее снижению также просматривались.

**Табл. 7. Численность основных эколого-трофических групп микроорганизмов, тыс. / 1 г абсолютно сухой почвы (слой 0–15 см)**

Место сбора образца	Аммонификаторы	Иммобилизаторы азота	Олиготрофы	Грибы	Актиномицеты	Целлюлозоразрушающие аэробы
Контроль, лес	7524,05	9698,40	13873,0	35,9	517,22	105,4
ТЭЦ	4531,24	5742,72	7021,7	33,8	481,42	68,7
Промышленная зона	4253,52	2600,41	1900,8	31,9	425,41	60,6
Автомагистраль	2268,81	4551,27	3529,7	33,8	405,43	49,0
АЗС	2712,33	3176,37	3287,6	34,1	463,27	45,9
НСР <sub>05</sub>	215,09	803,82	511,54	0,77	177,54	4,57

Мицелиальные формы почвенных микроорганизмов оказались более устойчивыми к воздействию вредных ингредиентов, ингибирование их развития

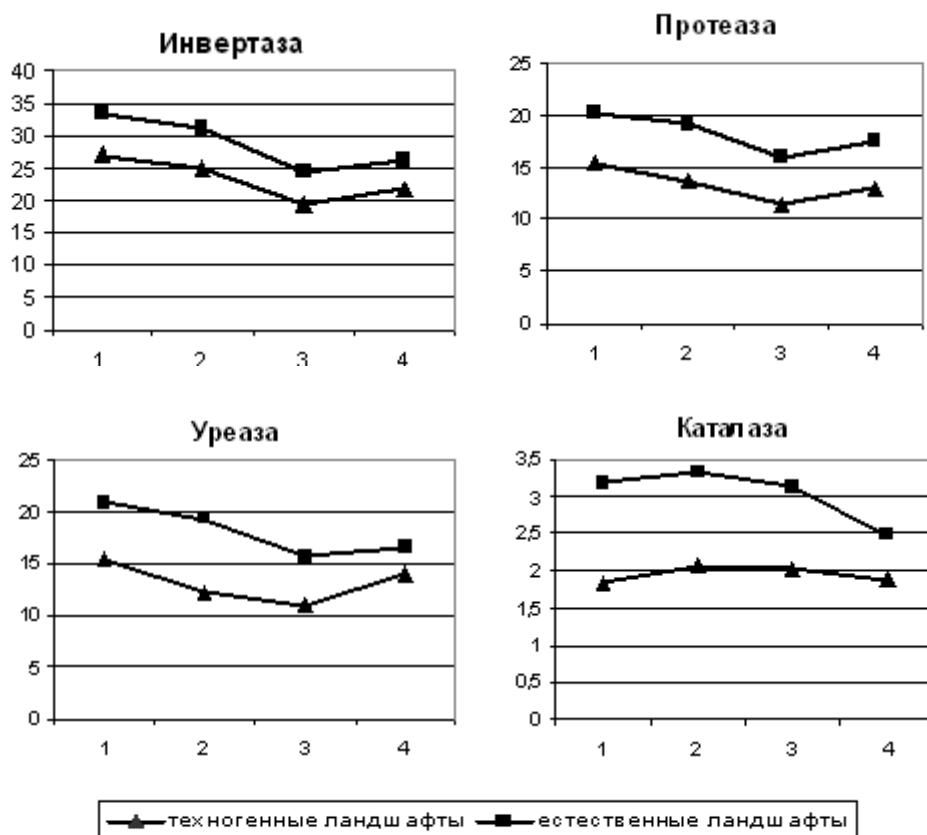
наблюдали на прилегающей территории промышленного предприятия, автомобильной магистрали, где бактериальные формы снижали свою численность уже на порядок. Среди целлюлозоразрушающих микроорганизмов 90–95% составляли актиномицеты, но чувствительность этой группы была значительно выше, чем всего пула актиномицетов в почве.

Таким образом, установленный факт достоверного снижения численности микроорганизмов под влиянием загрязнения ТМ серых лесных почв можно использовать в качестве показателя диагностики экологического состояния ландшафтов.

Также для оценки антропогенной нагрузки на почву поллютантов оперативными являются биохимические показатели, дающие сведения о динамике важнейших ферментативных процессов в почвах (Казеев, 2001; Колесников, 2004).

Изучение ферментативной активности серых лесных почв (2006–2008 гг.) в зоне влияния автомагистрали М5 на расстоянии 1000 м показало, что антропогенное влияние приводило к ингибированию активности, обнаружено снижение каталазной активности на 54,6 %, уреазной – на 37,5 %; протеазной – на 35,7 %; инвертазной – на 24 % по сравнению с серыми лесными почвами такого же химического состава, не испытывающими техногенного прессинга.

Анализ данных ферментативной активности показал, что активность каталазы оказалась наиболее чувствительной к загрязнению тяжелыми металлами (Pb, Cu, Ni, Cd, Zn) серой лесной почвы (рис. 10).



**Рис. 10. Ферментативная активность серых лесных почв:** 1 – 2006 г., 2 – 2007 г., 3 – 2008 г., 4 – 2008 г.; инвертаза – мг глюкозы на 100 г почвы, каталаза – в мл 0,1 Н  $\text{KMnO}_4$ , протеаза – в мкмоль лейцина на 1 г почвы, уреазы – мг  $\text{NH}_4$  на 100 г почвы за 20 ч



Учитывая, что в почве аккумулируется не один, а несколько металлов, рассчитаны показатели суммарного загрязнения почв, и была рассмотрена связь активности ферментов с этими показателями.

Коэффициенты, полученные в результате корреляционного анализа их связи, подтверждают достоверность полученных результатов исследования серой лесной легкосуглинистой почвы (табл. 8).

**Табл. 8. Уравнения зависимости показателя суммарного загрязнения  $Z_c$  и активности почвенных ферментов**

Инвертаза	$y = -5,4091x^2 + 128,88x - 741,89$	R = 0,53
Протеаза	$y = -3,1446x^2 + 75,412x - 437,06$	R = 0,67
Уреаза	$y = -3,2913x^2 + 80,109x - 472,17$	R = 0,88
Каталаза	$y = 0,1989x^2 - 4,8594x + 31,499$	R = 0,98

По степени устойчивости к загрязнению тяжелыми металлами почвенные ферменты располагаются следующим образом: каталаза > уреазы > протеазы > инвертазы.

Таким образом, ферментативная активность серых лесных почв зависит от степени и вида антропогенной нагрузки, наиболее чувствительной к загрязнению оказалась каталаза. Установленные связи ферментативной активности почв с показателем суммарного загрязнения серых лесных почв подтверждают возможность использования показателей активности почвенных ферментов в индикации загрязнения почв тяжелыми металлами.

### **Глава 6. Влияние загрязнения почвы ТМ на овощные культуры**

Почвы, достигшие ПДК по валовому содержанию ТМ – никеля, меди, свинца, кадмия, несомненно, являются токсичными, что позволяет предположить миграцию ТМ по пищевым цепям, представляющую реальную опасность здоровью населения. В связи с этим, следует обратить внимание на экологическое состояние почв населенных пунктов, где часто огороды располагаются в непосредственной близости к транспортным магистралям различного значения. Связующим звеном, через которое ТМ попадают в организм человека, являются растения, поэтому для обоснования выводов необходимо проведение анализов проб овощной продукции, выращенной на огородах в транспортной зоне.

Изучение содержания ТМ в овощах показало, что изучаемые виды обладают неодинаковой способностью поглощать и накапливать их. Так, содержание Pb, Zn, Cu, Ni в капусте намного выше, чем содержание этих же элементов в томатах (рис. 11). Накопление Cd также зависело от вида растений: томаты аккумулировали кадмия в 1,5 раза выше, чем капуста при выращивании в одинаковых условиях.

На содержание поллютантов также влияет расстояние от кромки автодороги. Так, на расстоянии 5–50 м содержание всех ТМ (Pb, Zn, Cu, Ni Cd) было выше, чем на удалении. Превышение ПДК наблюдалось только по свинцу и кадмию. При высоком уровне Pb в почве он накапливается в больших количествах. При одинаковом содержании Pb в почве томаты незначительно накапливали Pb, а капуста аккумулировала его в количествах, в 1,5 раза превышающих ПДК.

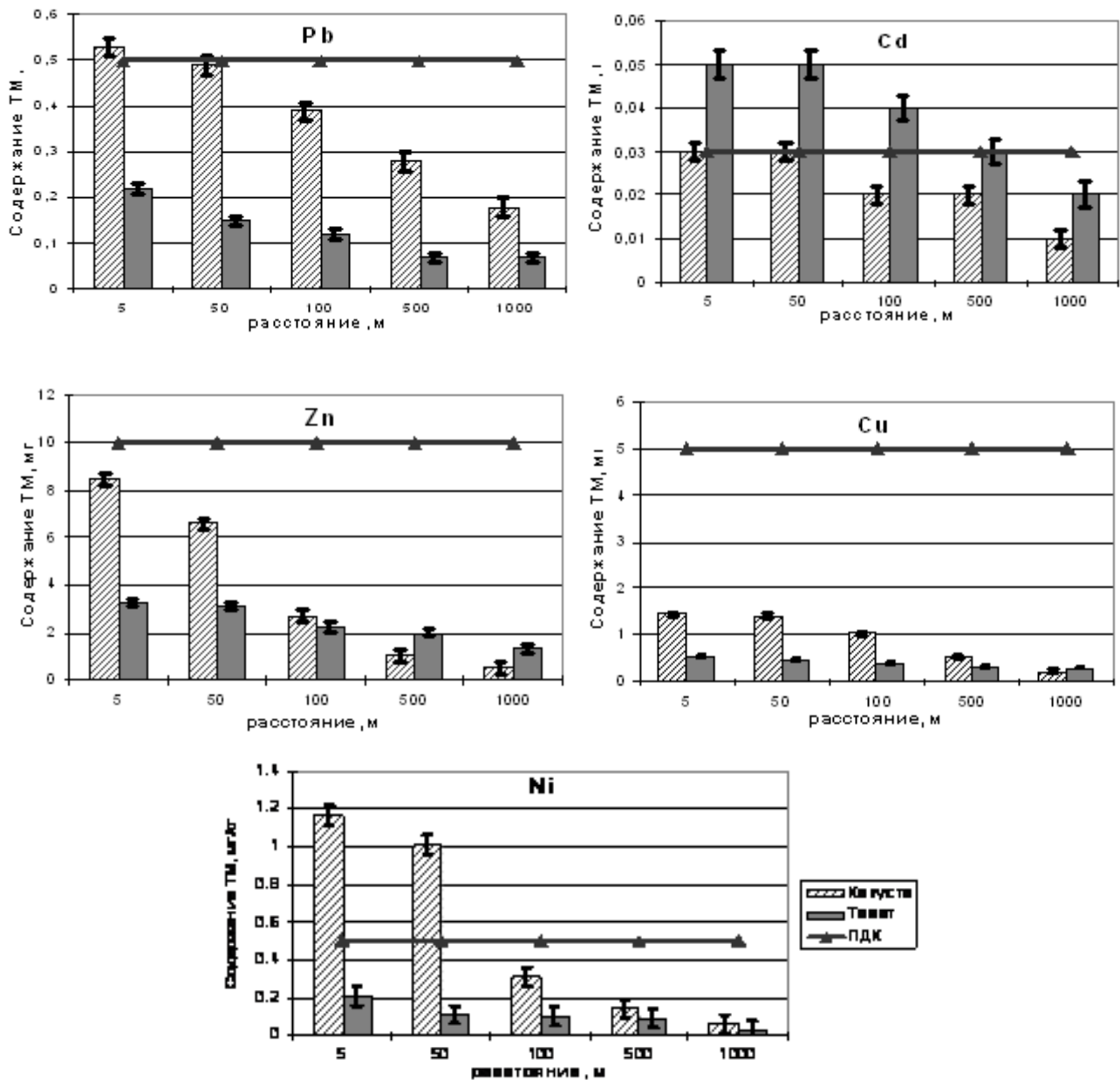


Рис. 11. Содержание ТМ в продукции овощеводства (капуста и томат), мг/кг. Планки погрешностей при  $p = 0,05$ .

Между содержанием ТМ в овощных культурах и их содержанием в почве выявлены корреляционные зависимости, которые указывают на тесную связь влияния количества металлов в почве на количество аккумулированного растениями металла (табл. 9).

Табл. 9. Уравнения зависимости влияния количества металлов в почве на количество аккумулированного растениями металла

ТМ	капуста		томаты	
Pb	$y = 0,4897e^{-0,001x}$	R = 0,98	$y = 0,1588e^{-0,001x}$	R = 0,84
Cu	$y = 1,4128e^{-0,002x}$	R = 0,98	$y = 0,4556e^{-0,0006x}$	R = 0,90
Zn	$y = 5,7695e^{-0,0027x}$	R = 0,93	$y = 2,9766e^{-0,0008x}$	R = 0,94
Ni	$y = 0,7933e^{-0,0028x}$	R = 0,92	$y = 0,1509e^{-0,0015x}$	R = 0,91
Cd	$y = 0,0284e^{-0,001x}$	R = 0,93	$y = 0,0485e^{-0,0009x}$	R = 0,98

Качество овощной продукции, особенно в условиях техногенного загрязнения, следует оценивать не только по общепринятым показателям (содержанию белков, углеводов, жиров), но и по содержанию различных веществ, зачастую токсичных для человека и сельскохозяйственных животных. В этом отношении проблема накопления растениями ТМ обостряется еще больше, так как они могут поступать в продукцию не только из почвы, но и из атмосферы (Соколов, Черников, 1999).

**Табл. 10. Коэффициенты биологического поглощения ТМ овощными культурами**

		Pb	Cu	Zn	Ni	Cd
50 м	1	0,005	0,018	0,069	0,018	0,005
	2	0,002	0,006	0,033	0,002	0,009
100 м	1	0,019	0,013	0,030	0,009	0,008
	2	0,006	0,005	0,025	0,003	0,017
500 м	1	0,020	0,010	0,012	0,004	0,016
	2	0,005	0,004	0,024	0,002	0,024
1000 м	1	0,013	0,003	0,006	0,002	0,008
	2	0,005	0,004	0,016	0,001	0,017

Примечание: 1 – капуста, 2 – томат.

Одной из характеристик, отражающих уровень потребления тяжелых металлов культурами, является коэффициент биологического поглощения (КБП). Установлено, что в среднем величина КБП возрастала в следующей последовательности: у капусты  $Pb = Cd < Cu = Ni < Zn$ ; томата  $Ni = Pb < Cu < Cd < Zn$  (табл. 10). Следует также отметить, что обе культуры больше всего аккумулировали цинк на расстоянии до 1000 м.

Таким образом, на основании проведенного анализа сделан вывод, что существует тесная взаимосвязь между накоплением ТМ в почве и поступлением их в растения. При увеличении концентрации токсичных элементов в почве отмечено увеличение их концентраций и в растениях. Накопление ТМ в овощных культурах в придорожной зоне происходило на расстоянии до 1000 м от кромки дороги, поэтому возделывание овощной продукции не рекомендуется производить ближе этого расстояния.

### **Глава 7. Роль зеленых насаждений в снижении негативной нагрузки на почвенный покров**

В результате исследований в зоне автомобильной дороги Пенза – Заречный в образцах почвы содержание ТМ (Pb, Zn, Cu, Ni, Cd) в значительной мере определялось воздействием автотранспорта и условиями распределения выбросов в придорожной зоне (рис. 12). Выявлено, что максимальное содержание всех изученных токсикантов характерно для расстояния 2 м от кромки дороги, при этом по цинку, свинцу, никелю и кадмию отмечено превышение ПДК в 1,1–1,4 раза.

По мере удаления от кромки дороги содержание всех ТМ закономерно снижалось. Вместе с тем, если на незащищенном деревьями участке на расстоя-

нии 10 м от дороги содержание Zn и Pb превышало допустимые концентрации, то под влиянием защитной лесополосы оно снизилось до практически безопасного уровня. Еще более значительны различия в концентрации ТМ на расстоянии 50 м от дороги, в этом случае использование лесополосы способствовало снижению их количества в 1,3–2,8 раза.

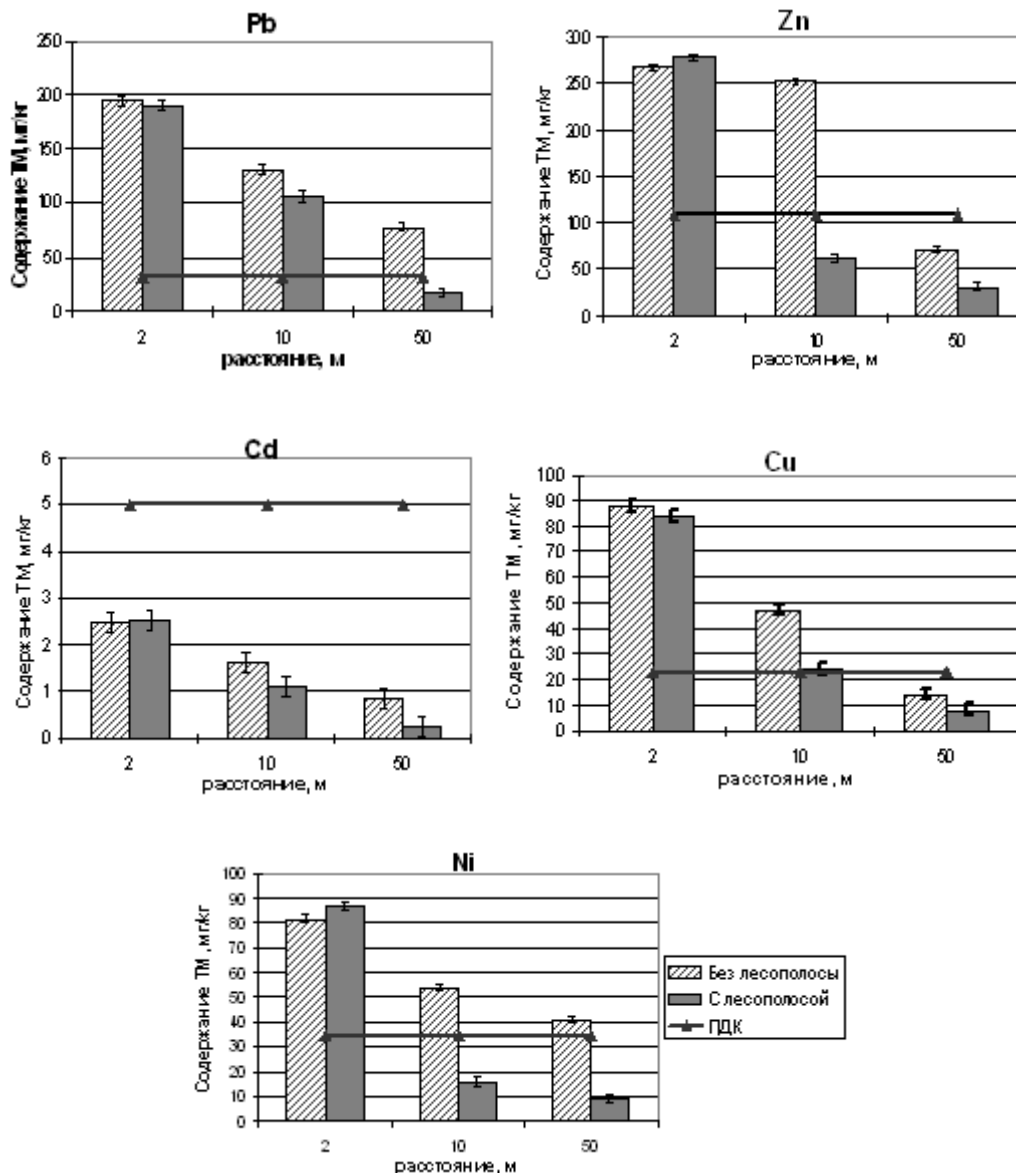


Рис. 12. Содержание валовых форм ТМ в почве (0–15 см) в зависимости от удаленности от кромки автодороги, мг/кг. Планки погрешностей при  $p = 0,05$ .

С использованием корреляционного анализа была проведена оценка связи влияния выбросов на аккумуляцию почвой ТМ (Zn, Cu, Cd, Pb, Ni). Результаты анализа подтверждают достоверность полученных данных (табл. 11).

Содержание подвижных форм ТМ также в значительной мере определялось местом отбора образцов почвы. При этом выявлено, что вблизи автомобильной дороги по Zn, Cu, Pb, Ni характерно превышение ПДК, по мере удаления содержание ТМ заметно снижалось. Санирующий эффект лесополосы достигал 29–47 % по сравнению с участком, не защищенным лесополосой.

**Табл. 11. Коэффициенты связи аккумуляции ТМ почвами в зависимости от расстояния до автодороги**

ТМ	Без лесополосы		С лесополосой	
Pb	$y = 178,65e^{-0,0177x}$	R = 0,96	$y = 191,9e^{-0,01488x}$	R = 0,99
Cu	$y = 80,925e^{-0,01357x}$	R = 0,98	$y = 60,241e^{-0,0142x}$	R = 0,92
Zn	$y = 304,96e^{-0,01286x}$	R = 0,99	$y = 172,32e^{-0,01365x}$	R = 0,84
Ni	$y = 72,566e^{-0,0112x}$	R = 0,88	$y = 49,543e^{-0,01367x}$	R = 0,80
Cd	$y = 2,2915e^{-0,0103x}$	R = 0,97	$y = 2,238e^{-0,01447x}$	R = 0,98

Таким образом, проведенное исследование еще раз подтверждает, что зеленые насаждения в городах являются барьером, сохраняющим ландшафты, и особенно почву, от загрязнения. Увеличение площади зеленых насаждений будет создавать условия безопасного проживания на загрязненных территориях.

**В приложении** приведены акты внедрения результатов диссертационной работы.

### ВЫВОДЫ

1. Серые лесные почвы лесостепи Среднего Поволжья характеризуются значительной вариабельностью содержания валовых и подвижных форм ТМ. Отмечена повышенная концентрация ТМ в верхнем плодородном слое серых лесных почв вблизи транспортных магистралей: на расстоянии до 20 м от железной дороги превышение ПДК по Pb в 1,3–3,0 раза, по Cd – в 1,7 раза, по Ni – в 1,7–1,8 раза; у автомагистралей превышения наблюдались на расстоянии до 500 м, что указывает об антропогенной нагрузке на почвы.

2. В зависимости от расстояния до источников загрязнения химические свойства техногенных ландшафтов достоверно изменяются: увеличиваются актуальная и потенциальная кислотности, снижается содержание обменного кальция и степень насыщенности почвенного поглощающего комплекса основаниями. Наиболее значимые изменения прослеживаются в поверхностном слое (0–15 см) на расстоянии до 100–200 м от источника загрязнения.

3. Установлено достоверное снижение численности микроорганизмов при загрязнении почвы ТМ: резко снижается количество целлюлозоразлагающих бактерий и бактерий, трансформирующих соединения азота; содержание мицелиальных форм (грибы и актиномицеты) существенно не изменяется. Активности ферментов – каталазы, уреазы, протеазы, инвертазы также достоверно снижаются. Снижение показателей общей численности почвенных микроорганизмов, соотношения эколого-трофических групп и активности почвенных ферментов можно использовать в качестве индикатора загрязнения серых лесных почв, что подтверждается корреляционными зависимостями.

4. Содержание ТМ в овощной продукции зависело от вида овощей (содержание Pb, Zn, Cu, Ni в капусте было выше, чем в томатах) и расстояния до кромки автомагистрали (на расстоянии до 50 м содержание Pb, Zn, Cu, Ni, Cd было выше, чем на удалении). Выявлены корреляционные зависимости, которые указывают на тесную связь содержания ТМ в почве с количеством, аккумуляцией

мулированным растением. КБП цинка оставался наиболее высоким для обоих видов овощей на расстоянии до 1000 м.

5. Содержание валовых и подвижных форм ТМ вблизи автомобильной дороги по цинку, меди, свинцу и никелю превышало ПДК. Выявлено, что использование полосы зеленых насаждений способствовало снижению их количества в 1,3–2,8 раза.

### **ПРЕДЛОЖЕНИЯ**

1. Для первичной оценки неблагополучия окружающей среды эффективным индикатором антропогенной нагрузки на почву является снижение абсолютной численности и изменение соотношения эколого-трофических групп почвенных микроорганизмов (бактериальных и мицелиальных форм). Целесообразно использовать в качестве индикаторов загрязнения серых лесных почв тяжелыми металлами активность почвенных ферментов – каталазы и уреазы.

2. Данные по содержанию ТМ (Pb, Zn, Cu, Ni Cd) в серых лесных почвах могут быть использованы при составлении карты геохимического загрязнения почв города.

### **СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

#### **Статьи в рецензируемых научных журналах РФ, рекомендованных ВАК**

1. Парфенова Е.А. Оценка загрязнения почв тяжелыми металлами в результате влияния выбросов автотранспорта // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. 2011. № 25. Пенза, 2011. С. 586–589.

2. Шаркова С.Ю., Полянскова Е.А., Парфенова Е.А. Биоиндикация городской среды по состоянию микробного комплекса почв // Экология и промышленность России: Научно-технический журнал. 2011. Ноябрь. М., 2011. С. 44–47.

3. Шаркова С.Ю., Полянскова Е.А., Парфенова Е.А. Состояние микробного комплекса почв при нефтезагрязнении // Известия ПГПУ им. В.Г. Белинского. 2011. № 25. Пенза, 2011. С. 606–609.

#### **Статьи в других изданиях**

4. Полянскова Е.А., Парфенова Е.А. Биоиндикация как поиск информативных компонентов экосистем // Информационные технологии и системы в науке, образовании, промышленности: Сборник докладов II Всероссийской научно-технической конференции. Пенза: Изд-во ПГТА, 2009. С. 321–325.

5. Шаркова С.Ю., Полянскова Е.А., Омельченко Е.А. Физико-химические свойства техногенно загрязненной серой лесной почвы под влиянием известкования // Агроэкологические аспекты устойчивого развития АПК: Материалы VII Международной научной конференции. Брянск: Изд-во БГСХА, 2010. С. 195–198.

6. Шаркова С.Ю., Полянскова Е.А., Парфенова Е.А. Влияние нефтеперерабатывающего предприятия на почвенный покров // Агроэкологические ас-

пекты устойчивого развития АПК: Материалы VII Международной научной конференции. Брянск: Изд-во БГСХА, 2010. С. 237–241.

7. Полянская Е.А., Парфенова Е.А., Шаркова С.Ю. Оценка влияния автозаправочных станций на окружающую среду // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего <sup>плюс</sup>: Научно методический журнал. 2011. № 01 (01). Пенза: Изд-во Пенз. гос. технол. акад., 2011. С. 91–96.

8. Парфенова Е.А., Полянская Е.А. Использование процедуры идентификации экологических аспектов для оценки воздействия промышленного предприятия на окружающую среду // Вопросы повышения урожайности сельскохозяйственных культур: Материалы международной научной конференции. Иваново: Изд-во Ивановской ГСХА, 2011. – С. 189–191.

9. Ефремова С.Ю., Полянская Е.А., Парфенова Е.А. Моделирование влияния автозаправочных станций на экосистемы // Математические методы в технике и технологиях – ММТТ-24: Сборник трудов XXIV Международной научной конференции. Т. 4. Киев: Изд-во Нац. техн. ун-та Украины, 2011. С. 87–89.

10. Парфенова Е.А., Ефремова С.Ю. Биоиндикация аэротехногенного загрязнения почв // Состояние среды обитания и фауна охотничьих животных России: Материалы 5-й Всероссийской научно-практической конференции. М: РГА-ЗУ, 2011. С. 488–495.

11. Парфенова Е.А., Ефремова С.Ю., Суркова В.В. Анализ техногенной нагрузки предприятия легкой промышленности на окружающую среду с разработкой природоохранных мероприятий // Молодёжь. Наука. Инновации: Сборник материалов IV Международной научно-практической Интернет конференции. – Пенза: РГУИТП, 2011. С. 393–399.

**Благодарности.** Автор выражает глубокую благодарность научному руководителю, д.б.н. С.Ю. Ефремовой за помощь на всех этапах работы, заведующему кафедрой д.т.н., профессору К.Р. Таранцевой; д.с-х.н., профессору И.А. Шильникову (ВНИИА, Москва) за методические советы и поддержку при подготовке диссертации, сотрудникам ГЦАС “Пензенский” в лице зам.директора Н.Н. Мещеряковой за помощь в проведении химико-аналитических исследований, а также Е.А. Полянской за помощь в обработке некоторых экспериментальных данных, полученных в совместной работе.

ПАРФЕНОВА Екатерина Анатольевна

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВ СРЕДНЕГО  
ПОВОЛЖЬЯ В УСЛОВИЯХ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ**

**Специальность 03.02.08 – экология (биология)**

**АВТОРЕФЕРАТ**  
**диссертации на соискание ученой степени**  
**кандидата биологических наук**

Редактор Л.Ю. Горюнова  
Компьютерная верстка Д.Б. Фатеева, Е.В. Рязановой

Сдано в производство 16.02.12. Формат 60x84 <sup>1</sup>/<sub>16</sub>  
Бумага типогр. №1. Печать трафаретная. Шрифт Times New Roman Cyr.  
Усл. печ. л. 1,39. Уч.-изд. л. 1,41. Заказ № 2130. Тираж 100.

---

Пензенская государственная технологическая академия.  
440605, Россия, г. Пенза, пр. Байдукова/ ул. Гагарина, 1<sup>а</sup>/11.