

ЕВТЮХИН ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОНТРОЛЯ И  
ДЕТОКСИКАЦИЯ АГРОЦЕНОЗОВ ЮГА ЦЕНТРАЛЬНОГО  
НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ, ПОДВЕРЖЕННЫХ ТЕХНОГЕННОМУ  
ВОЗДЕЙСТВИЮ**

**Автореферат**

диссертации на соискание ученой степени

доктора биологических наук

по специальностям: 03.02.08 – экология,

06.01.04 – агрохимия

МОСКВА, 2011

Работа выполнена в ООО «МНТЦ» и в ФГОУ ВПО «Российский государственный аграрный заочный университет»

Научные консультанты: заслуженный деятель науки и техники РФ,  
профессор, доктор биологических наук  
**Еськов Евгений Константинович,**  
профессор, доктор сельскохозяйственных наук  
**Мажайский Юрий Анатольевич**

Официальные оппоненты: доктор биологических наук  
**Замана Светлана Павловна**  
доктор биологических наук, профессор  
**Орлова Валентина Сергеевна**  
доктор биологических наук  
**Шаркова Сания Юнусовна**

Ведущая организация: ГНУ Рязанский НИИ сельского хозяйства Россельхозакадемии

Защита состоится «\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г. в \_\_ часов на заседании диссертационного совета Д-220.056.01 при ФГОУ «Российский государственный аграрный университет по адресу: 143900, г. Балашиха-8 Московской области, ул. Юлиуса Фукчика, 1; тел.: (495) 521-45-74; сайт <http://www.rgazu.ru>

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Российского государственного аграрного заочного университета.

Автореферат размещен на сайте ВАК [referat\\_vak@obrnadzor.gov.ru](mailto:referat_vak@obrnadzor.gov.ru) \_\_\_\_\_

Автореферат разослан «\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат биологических наук, доцент \_\_\_\_\_

О.Л. Сойнова

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** В последние десятилетия, в ряде регионов Российской Федерации, отмечается все большее нарушение гармонии экологического равновесия. Это происходит в результате увеличения объемов отходов и загрязняющих веществ антропогенного происхождения, поступающих в атмосферу, почву, поверхностные и грунтовые воды, а из них по трофическим цепям к животным и человеку.

Фотохимические процессы в атмосфере, физико-химические и биологические – в водной и почвенной среде, не обеспечивают детоксикации резко возросшего количества загрязнителей. Опасными являются высокие концентрации тяжелых металлов, углеводородов в почве. При этом изменяются природные процессы миграции и трансформации веществ, естественный химический состав почв, растений и подземных вод.

Ведение земледелия, на техногенно загрязненных почвах, становится одной из актуальных проблем экологии и сельскохозяйственного производства. К факторам, загрязняющим окружающую среду, часто относят применение минеральных, а также известковых и органических удобрений. Но альтернативы их применению пока нет, так как они обеспечивают 50% урожая. Хотя свойства удобрений как фактора урожайности изучаются нескольких десятков лет, влияние загрязняющих веществ, содержащихся в удобрениях на миграцию поллютантов в почве, их аккумуляцию растениями и поступление в подземные воды, остается предметом острой дискуссии и пристального изучения.

Разработка научно обоснованных приемов детоксикации почв актуальна и необходима для обеспечения устойчивости земледелия, получения экологически безопасной продукции, предупреждения дальнейшего распространения загрязнителей через почву, растения и подземные воды. Изучение миграции поллютантов в системе «почва – растение» в зависимости от состояния почв, состава и активности биоты микроорганизмов, интенсивности загрязнения, применяемых удобрений и растительности актуальна для понимания закономерностей развития агроэкосистем в условиях прогрессивно возрастающего техногенного загрязнения окружающей природной среды.

**Цель исследований** заключалась в теоретическом обосновании и разработке научно обоснованных систем контроля, защиты и детоксикации агроэкосистем, подвергающихся прогрессивно возрастающему техногенному загрязнению, для получения экологически безопасной сельскохозяйственной продукции.

Для реализации поставленной цели предусматривалось решение **следующих задач:**

- определить источники и степень техногенного воздействия на окружающую природную среду в разных частях изучаемого региона;
- проследить динамику миграции химических элементов в естествен-

ных условиях экополигона «Мещера»;

- дать оценку современного состояния экологической ситуации в агроэкосистемах юга Центрального Нечерноземья;

- оценить на основе экспериментальных исследований использование фитомелиорации, как способа детоксикации загрязненных почв;

- обосновать ведение сельскохозяйственного производства на слабозагрязненных (2 г/кг) нефтью и дизельным топливом почвах;

- разработать и научно обосновать рациональные системы применения удобрений в севооборотах для детоксикации загрязненных тяжелыми металлами дерново-подзолистой супесчаной почвы и оподзоленного чернозема;

- изучить состав сообщества почвенных микроорганизмов и их функционирование в зависимости от степени техногенного загрязнения и способов детоксикации почв;

- провести экологическую оценку детоксикационных мероприятий агрохимическими, гидрохимическими, микробиологическими, биологическими методами;

- определить экономическую эффективность агрохимических приемов детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами.

**Научная новизна работы** заключается в:

- теоретическом обосновании научно-методических подходов к изучению закономерностей формирования техногенных потоков загрязняющих веществ агроэкосистем;

- обосновании региональной градации техногенного загрязнения почв на основе установления закономерностей регионального геохимического фона и профильного распределения валовых форм тяжелых металлов в основных типах почв;

- выявлении особенностей пространственного распространения элементов-загрязнителей в агроценозах и составлении эколого-геохимических характеристик почв по отдельным металлам в виде картосхем;

- установлении закономерностей поведения экотоксикантов в системе «почва – растение – подземные воды» и разработке на этой основе научно обоснованной системы детоксикации техногенно загрязненных почв;

- разработке методологических и экологических подходов классификации техногенных источников загрязнения в региональном аспекте;

- выявлении экологических последствий и закономерностей влияния разных форм и видов минеральных удобрений на состояние серой лесной тяжелосуглинистой почвы;

- научном обосновании применения систем удобрений в агроценозах на техногенно загрязненных почвах;

- научном обосновании и практической реализации функционирования агроценозов на примере экополигона «Мещера», представляющего собой крупномасштабную модель водосборного участка левобережного Окского бассейна.

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

1. Научно-методические подходы к экологической классификации региональных техногенных источников выбросов.
2. Закономерности накопления и миграции ТМ в системе «почва-внутрипочвенные и поверхностные воды» в пределах экополигона «Мещера».
3. Результаты почвенно-экологического мониторинга агроценоза на основе научно-методических подходов к его ведению с учетом интенсивности атмотехногенных источников и региональной градации почв по химическим загрязнителям.
4. Применение люпина узколистного как монокультуры для фитодетоксикации химически загрязненной дерново-подзолистой супесчаной почвы.
5. Экологическое обоснование возможности использования в сельскохозяйственном производстве слабо загрязненных почв нефтью, дизельным топливом.
6. Обоснование органо-минеральной системы применения удобрений в кормовых севооборотах для детоксикации повышенно загрязненных ТМ дерново-подзолистой супесчаной почвы и оподзоленного чернозема.
7. Оценка детоксикационных мероприятий для загрязненных почв.
8. Экономическая эффективность применения систем удобрений в севообороте на дерново-подзолистой почве.

### **Практическая значимость результатов работ:**

- проведение регионального почвенно-экологического мониторинга, позволившего оценить геохимическую характеристику распределения микроэлементов и тяжелых металлов в агроэкосистемах, что необходимо для планирования системы земледелия сельхозпредприятий;
- разработанные способы детоксикации загрязненных почв в системе «почва – растение – подземные воды», основанные на биологических и агрохимических мероприятиях;
- научно обоснованная органо-минеральная система удобрений в севообороте на повышенном уровне загрязнения тяжелыми металлами агроэкосистем, способствующая снижению фитотоксичности почв и получению экологически безопасной продукции;
- обоснованная и апробированная детоксикация дерново-подзолистых супесчаных почв, загрязненных тяжелыми металлами, посредством многолетнего выращивания люпина узколистного;
- разработаны проекты экологически обоснованных систем удобрений в севооборотах региона с учетом уровня загрязненности почв, позволяющих снизить влияние загрязнения и получить экологически безопасную продукцию.

**Апробация работы.** Результаты работы доложены и обсуждены на международных, всероссийских и отраслевых совещаниях и конференциях. Важнейшими из них являются: Международная конференция «Мелиорация

загрязненных деградированных земель». – Польша, Сельскохозяйственная академия в г. Щецине, 2005 г.; Международная научно-методическая конференция «Нормирование водопользования в орошаемой земледелии». – Херсон (Украина), 2005 г.; Десятая Республиканская с международным участием научно-практическая конференция «Социально-гигиенический мониторинг здоровья населения», – Рязань, РГМУ, 2006 г.; Конференция с участием иностранных специалистов «Экология человека, гигиена и медицина окружающей среды на рубеже веков: состояние и перспективы развития», посвященная 75-летию ГУ НИИ экологии человека и гигиены окружающей среды им. А.Н. Сысина РАМН. – Москва, 2006 г.; Международная научно-практическая конференция «Приемы повышения плодородия почв и эффективности удобрений», посвященная 130-летию со дня рождения академика Я.Н. Афанасьева – основателя и первого заведующего кафедрой почвоведения УО «БГСХА». – Горки, БГСХА, 2007 г.; II Международная научная конференция «Современные проблемы загрязнения почв». – Москва, 2007 г.; Пятый международный конгресс по управлению отходами и природоохранными технологиями. ВэйстТэк-2007. – Москва, 2007 г.; Конференция по использованию удобрений и отходов. – Южно-Сахалинск, 2008 г.; Международная научно-практическая конференция «Агрохимия и экология: история и современность». – Нижний Новгород, 2008 г.; 13-ая Республиканская научно-практическая конференция «Социально-гигиенический мониторинг здоровья населения». – Рязань, 2009 г.; Всероссийская научная конференция «Методическое обеспечение мониторинга земель сельскохозяйственного назначения». – Москва, 2009 г. – Москва, 2011 г.; V-я Всероссийская научно-практическая конференция «Состояние среды обитания и фауна охотничьих животных России»

Результаты почвенно-экологического мониторинга и рекомендуемые способы детоксикации почв агроценозов использованы при разработке: рекомендаций по проведению эколого-мелиоративных мероприятий рекультивации техногенно загрязненных и деградированных культурных ландшафтов, 2002 г.; научно обоснованных рекомендаций по регулированию водного режима антропогенно загрязненных почв с применением усовершенствованных конструкций водооборотных гидромелиоративных систем, 2002 г.; научно обоснованных рекомендаций по применению агрохимической мелиорации почв, подверженных техногенному загрязнению, в условиях южной части Нечерноземной зоны РФ, 2009 г.; учебно-методических пособиях для студентов агроэкологических специальностей.

Рекомендации широко используются Управлением «Рязаньмелиоводхоз», проектными и землеустроительными организациями при планировании и проведении проектных и эксплуатационных работ, а также хозяйствами региона при производстве сельскохозяйственной продукции.

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы опубликованы в 96 печатных работах, в том числе 3 монографии, 8 статей в журналах, рекомендованных ВАК, 4 – рекомендации, 9 – нормативных документов

и научных отчетов, 5 – учебно-методических работ и других изданиях (труды научных конференций и ведомственные сборники). Монография «Нейтрализация загрязненных почв» за вклад и укрепление экологической безопасности и устойчивое развитие России отмечена в 2008 г. национальной экологической премией.

**Структура и объем работы.** Диссертация состоит из введения, семи глав, выводов и предложений производству, списка использованной литературы из 485 наименований, 55 приложений. Общий объем диссертации 478 страниц, из них – 358 страниц основного текста, в том числе 93 таблицы, 25 рисунков.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В настоящей работе приведены результаты научных исследований, проводившихся по двум взаимосвязанным направлениям: с одной стороны, почвенно-экологический мониторинг агроландшафтов, подверженных техногенному загрязнению, с другой – агробиологические и агрохимические приемы детоксикации агроценозов, загрязненных тяжелыми металлами и нефтепродуктами.

Исследования по экомониторингу выполнялись в рамках региональных и местных программ (ЗК РФ от 25.10.2001 № 136-ФЗ). Программа мониторинга земель Рязанской области разработана в соответствии с Земельным кодексом РФ и Положением об осуществлении государственного мониторинга земель, утвержденного постановлением Правительства РФ от 28.10.2002 г. № 846. Контроль за выполнением программы мониторинга земель Рязанской области на 2005–2010 гг. осуществлялся комитетом по земельным ресурсам и землеустройству Рязанской области и главным управлением природных ресурсов РФ по Рязанской области.

Второе направление исследований связано с изысканием научного обоснования экспериментальным путем оптимальных систем применения удобрений и фитомелиорации в условиях стационарных полевых опытов. Исследования выполняли в условиях лизиметрических опытов с использованием лизиметров конструкции ВНИИГиМ, в которых находилась почва с ненарушенным сложением профиля. Глубина лизиметров 1,9 м, диаметр от 0,985 до 1,13 м. Лизиметрическая площадка является частью опытного поля Мещерского филиала ВНИИГиМ.

Для проведения постоянных наблюдений за антропогенными загрязнениями агросистем организованы постоянно действующие экополигоны: «Мещера», в хозяйствах Рязанского района ЗАО «Заборье», ЗАО «Московское», ОПХ «Полково», Рязского района СПК «Колос», утвержденные комитетом Российской Федерации по земельным ресурсам и землеустройству от 28.11.1995 г. № К-1/302. Выделены постоянные опорные точки наблюдения на основных типах почв. Расположение точек наблюдений представлено на рисунке 1.

Почвенные пробы отбирали в соответствии с ГОСТ 17.4.3.03-84, ГОСТ 17.4.4.02-84, с методическими рекомендациями, указаниями 1993 г., 1998 г. Определение в ТМ проводили в соответствии с «Методическими указаниями ... ЦИНАО», 1992 г., с применением метода масс-спектрометра и атомно-эмиссионного спектрометра Optima-4300 с индуктивно-связанной плазмой Elan-6100 в АСИЦ ВИМС.

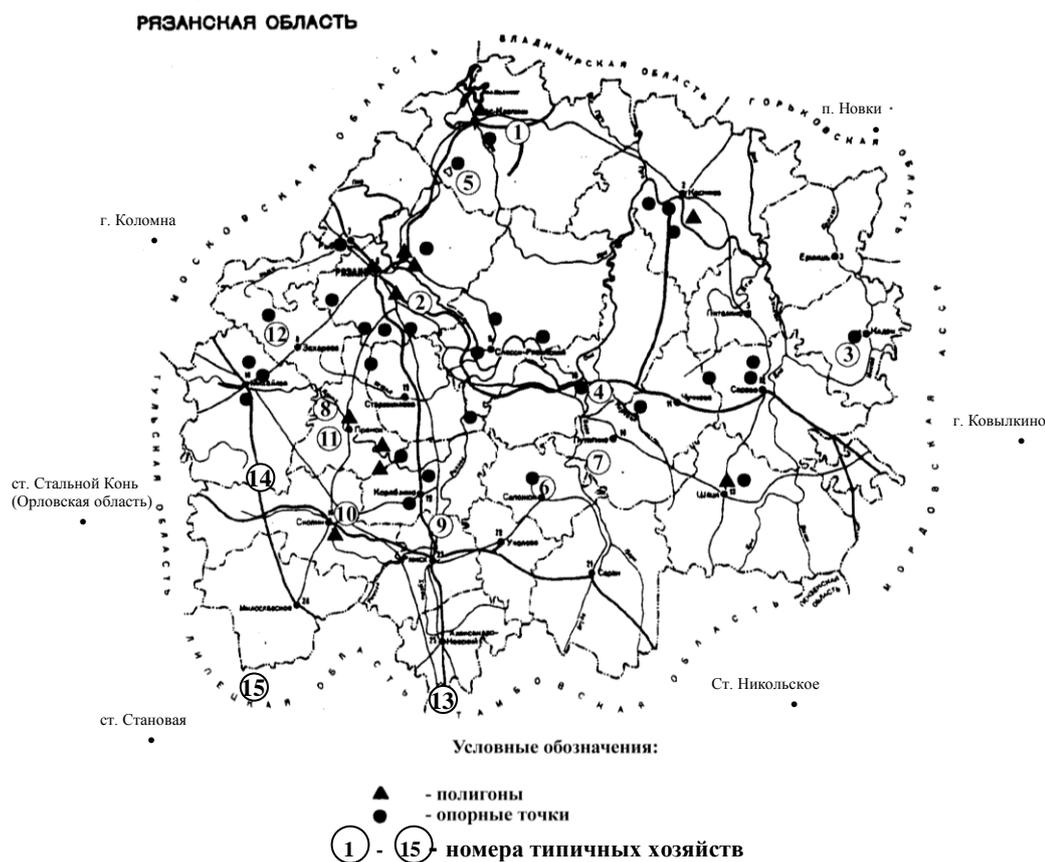


Рисунок 1. Расположение точек наблюдений в 1993–2006 гг.

С целью выявления особенностей распределения металлов и изучения регионального геохимического фона в основных типах почв Рязанской области было заложено 17 полнопрофильных разрезов. Черноземы (5 разрезов) оподзоленные и выщелоченные с тяжело- и среднесуглинистым гранулометрическим составом, сформированные на морене, карбонатных покровных суглинках и глине. Серые лесные (4 разреза) тяжело- и среднесуглинистые почвы, сформированы на покровных суглинках и морене. Дерново-подзолистые (4 разреза) песчаные, супесчаные и среднесуглинистые почвы, сформированы на эоловых песчаных и аллювиальных отложениях. Из каждого разреза, которые в трех повторностях, по слоям 0–10, 10–20, 20–40, 40–60 см и так далее до материнской породы были отобраны почвенные образцы. Валовое содержание Zn, Cu, Pb, Cd, Co, B, Mn, V, Ni, Sn, Mo определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии с пламенной атомизацией в 5М

азотной кислоте. Исследования морфологических, агрохимических и некоторых агрофизических свойств проводили на основе общепринятых методик (Методические..., 1982, 1992; Практикум..., 1986; Методические рекомендации..., 1987).

Для изучения возможной транслокации загрязняющих веществ в природной среде на основе эмпирического метода была разработана классификационная шкала техногенных нагрузок, которые по интенсивности антропогенного воздействия дифференцированы на очень высокие, высокие, повышенные, средние, низкие, очень низкие.

Сравнительная оценка двух периодов (1993–1999 гг. и 2001–2009 гг.) изучения потока химических загрязнителей в атмосферных выпадениях осуществлялась методами, используемыми при исследовании атмосферных осадков и воздуха (РД 52.04.186-89, 1991). Отбор осадков проводили в семи точках Рязанской области (Пронский, Старожиловский, Спасский 2 точки, Клепиковский, Рыбновский, Михайловский районы и в четырех точках Рязанского района). Для отбора снега фиксировалась площадь (0,25 м<sup>2</sup>) и глубина шурфа. Подготовка проб заключалась в их оттаивании при комнатной температуре. При отборе осадков в виде дождя исключалось попадание в образец посторонних веществ, использовались емкости, инструменты, не содержащие тяжелых металлов. Полиэтиленовые дождеборники экспонировались только во время дождя. Отбиралась суммарная средняя проба за месяц, которая характеризовала среднее содержание определяемых компонентов за соответствующий период времени.

Изучение потоков миграции Pb, Cd, Zn, Cu на экополигоне «Мещера» в 1998–1999 гг. и 2001–2007 гг. исследовались в подземных и поверхностных водах. Для этих целей на экополигоне были пробурены наблюдательные скважины, перехватывающие подземный сток с территории природного ландшафта. Малая река данного природного ландшафта является коллектором, принимающим как поверхностные, так и внутрпочвенные стоки. Пробы воды отбирали ежемесячно в истоке, середине и устье.

В комплексе исследований по детоксикации агроценозов, загрязненных ТМ, изучали эффективность различных систем удобрений в кормовых севооборотах. Для разработки приема фитодетоксикации были проведены вегетационные опыты в испарителях ГГИ-500-50 (площадь 50 см<sup>2</sup>), дерново-подзолистая супесчаная почва которых загрязнена растворимыми солями. Исходная почва содержала Cd – 0,1 мг/кг, Pb – 6, Zn – 16, Cu – 15 мг/кг. Концентрацию загрязнения металлами доводили до шестикратного содержания, соответственно 0,6, 36, 96, 90 мг/га. Растительными объектами исследования служили люпин узколистный, овес и клевер красный.

В исследованиях с целью оценки фитодетоксикации загрязненных ТМ дерново-подзолистых супесчаных почв использовали люпин узколистный. Закладку полевого мелкоделяночного опыта (1x2 м) проводили в 3-х кратных повторениях. На поверхность опытных делянок вносили загрязненную водорастворимыми солями почву в определенном количестве, согласно вариан-

там: 1) фон – исходная почва; 2) 3 фона; 3) 4 фона; 4) 5 фонов. Далее делянки тщательно перекапывали на глубину пахотного слоя.

Учет урожая проводили в фазе молочно-восковой спелости. Весь урожай сразу разделяли на части растений: плоды и надземная масса (стебли + листья). После высушивания плоды растрескивались на зерно и створки бобов. Экологическое качество растительной продукции (зерно, створки бобов, стебли + листья) анализировали в ФГУ САС «Рязанская», ФГУ САС «Подвязьевская» в соответствии с ГОСТ 30692-2000 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье».

Для интегральной оценки токсичности почвы изучали ее биологическую активность двумя методами: 1) определение суммарной токсичности почвы методом тест-культуры (редис); 2) определение и интенсивности разложения целлюлозы методом аппликаций по шести повторениям. Интенсивность разрушения льняного полотна оценивалась по Д.Г. Звягинцеву (1980).

Опыты по изучению агрохимических приемов детоксикации повышенного комплексного загрязнения Pb, Cd, Zn, Cu дерново-подзолистой супесчаной почвы проводили с 2002 по 2008 г., чернозема оподзоленного – с 2004 по 2008 г. По региональной градации загрязненности почв химическими элементами содержание Pb 40 мг/кг, Cd – 0,6, Zn – 110, Cu – 90 мг/кг представляло повышенное загрязнение. Моделирование повышенного уровня загрязнения почвы проведено посредством донесения в почву водорастворимых солей изучаемых элементов. Для этого из лизиметров на пленку выбирали слой почвы глубиной 20 см. В деляночных опытах загрязнители тщательно смешивали с 2 кг из взятой делянки почвы. Загрязненную почву равномерно распределяли по лизиметру, или на поверхность делянки и тщательно ее перекапывали.

Опыты заложены и проводились с 2002 г. в кормовых севооборотах при чередовании культур: картофель, ячмень, клевер 1 г.п., клевер 2 г.п., озимая рожь, свекла кормовая, овес. В них исследовали эффективность разных систем применения удобрений: органо-минеральной, минеральной, органической. Озимая рожь после зимы была изрежена, поэтому весной стеблестой в этих делянках доводили до оптимальной густоты ячменем. Схемы экспериментальных исследований представлены в таблицах 1, 2.

Сравнительная оценка влияния наиболее эффективной органо-минеральной системы удобрений (Н40Р240 N1К1) в севообороте проведена в условиях лизиметрического опыта на дерново-подзолистой супесчаной почве. В этом случае созданы три уровня комплексного загрязнения почвы Pb, Cd, Zn, Cu: средний, высокий и чрезвычайно опасный. Почвы загрязняли ранее описанными способами.

Для изучения миграции Pb, Cd, Zn, Cu в системе «почва – растения – грунтовые воды» в лизиметрических опытах отбирали почвенные, растительные и образцы внутрипочвенных вод. В почве определяли подвижные формы металлов, извлекая их ацетатно-аммонийным буфером pH 4,8. В растениях и лизиметрических водах – общее содержание ТМ. Содержание орга-

нического вещества определяли по ГОСТ 26213-91, а групповой и фракционный состав по методу И.В. Тюрина в модификации В.В. Пономаревой и Т.А. Плотниковой [1980].

Таблица 1. Схема закладки и проведения лизиметрического и мелкоделяночного опытов в условиях техногенного загрязнения дерново-подзолистой почвы

№№ вариантов опытов		Содержание вариантов, системы применения удобрений в севооборотах	Сокращения в таблицах содержания вариантов
лизиметрического	мелкоделяночного		
–	1	Контроль абсолютный (без удобрений и ТМ)	Контроль
1	2	Повышенный фон загрязнения: Pb – 40, Cd – 0,6, Zn – 110, Cu – 90 мг/кг	Фон (Ф)
2	3	Ф + Навоз 40 т/га – 1 раз в 3 года, N60-90 K60-120 – ежегодно в зависимости от культуры	Ф + H40 N1P1K1
3	4	Ф + Навоз 40 т/га – 1 раз в 3 года, P120 – 1 раз в 2 года, N60-90K60-120 – ежегодно	Ф+H40P120 N1K1
4	5	Ф + Навоз 40 т/га – 1 раз в 3 года, P240 – 1 раз в 4 года, N60-90K60-120 – ежегодно	Ф + H40P240 N1K1
5	6	Ф + Навоз 80 т/га – 1 раз в 3 года	Ф + H80
6	7	Ф + P480 – 1 раз в 4 года, N60-90K60-120 – ежегодно в зависимости от культуры	Ф + P480 N1K1

Примечание: 2004, 2005 гг. – вносили N30 в подкормку клевера.

Таблица 2. Схема закладки и проведения лизиметрического опыта в условиях техногенного загрязнения чернозема оподзоленного

№№ вариантов	Содержание вариантов, система применения удобрений в звене севооборота	Сокращения в таблицах
1	Без удобрений	Б/у
2	Навоз 100 т/га – периодическое внесение	H100
3	Навоз 100 т/га – периодическое внесение N60-90K60-120 – ежегодно в зависимости от культуры	H100 N1P1K1
4	P120 – периодическое внесение, 1 раз в 2 года N60-90K60-120 – ежегодно	P2 N1K1
5	P240 – периодическое внесение, 1 раз в 4 года N60-90K60-120 – ежегодно	P4 N1K1
6	P120 – ежегодное внесение повышенной дозы фосфора и оптимальных доз N60-90K60-120 – ежегодно	P120(e) N1K1

Уровень грунтовых вод в лизиметрах поддерживался на глубине 1,9 м. Слои увлажнения в опытах были дифференцированы по фазам развития растений с учетом нарастания их корневой системы. Они составляли 20–30 см в начале и 30–50 см в конце вегетационного периода развития растений. Поливы проводили в объемах повышающих влажность почвы до НВ. Поливные нормы при орошении рассчитывались по формуле А.Н. Костякова [1951] и составляли 10–25 мм.

Цифровой материал обрабатывали методами дисперсионной и вариационной статистик с помощью компьютерной программы Excel. При опреде-

лении достоверных различий между средними урожаями в различных вариантах опытов по уровню значимости ( $НСР_{0,95}$ ) рассчитывали доверительные интервалы средних значений ( $\pm$ ).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

### Основы почвенно-экологического мониторинга агроценозов, подверженных техногенному воздействию

При проведении почвенно-экологического мониторинга агроценозов Рязанского региона было выяснено их современное состояние, исследованы морфологические, агрохимические и некоторые агрофизические показатели, изучено гумусное состояние основных типов почв. Во многом экологические функции почв определяются этими свойствами. Почвы региона в основном малоплодородны, имеют кислую реакцию почвенного раствора, гумусовые вещества ее относятся к нижнему пределу фульватно-гуматного типа. Поэтому экологическая функция региональных почв снижена. Все эти свойства оказывают влияние на миграционные процессы техногенных загрязняющих химических элементов в почве, так как геохимия трансформации форм ТМ обусловлена не свойствами ионов металлов, а свойствами их носителей.

Для решения задач почвенно-экологического мониторинга на региональном уровне важно выяснить особенности почвенных профилей в распределении, трансформации, аккумуляции, а также природную геохимическую основу концентрирования ТМ в почвообразующих породах. Средние показатели региональных почв во многом отличаются от кларка земной коры. Черноземы больше аккумулялировали в корнеобитаемых слоях – Pb, Cu, В, меньше – Zn, Cd, Mn, Mo; серые лесные – больше Pb, Zn, Cu, Mn, В, Co, меньше – Cd, V, Ni, Mo; дерново-подзолистые (тяжелые) больше – Zn, Cu, Pb, Co, В, Mn, V, Sn, меньше – Cd, Cr, Mo.

Внутрипрофильное распределение изучаемых элементов в почвах тяжелого гранулометрического состава характеризуется образованием двух максимумов накопления. Во всех почвах наблюдалась биогеохимическая аккумуляция в гумусово-элювиальных горизонтах Cu, Mn, Pb, Cd, Ni, Co – первый максимум. Второй максимум отмечен в слоях 40–60 см, 60–80, 80–100 см, что связано с утяжелением механического состава на геохимическом барьере иллювиальных горизонтов.

Исследование аллювиальных почв показали относительно равномерное распределение Zn, Cu, Cd, Cr, Co, В, Mn, V в метровой толще их профиля, что связано с выраженной однородностью гранулометрического и минералогического состава. Нарушение такой однородности происходит под действием биогенной аккумуляции Cu, Mn, Zn, Pb, Mo, Cd в верхней части гумусового горизонта. На глубине 80, 100 см наблюдались изменения, которые, возможно, связаны с изменением состава аллювиальных наносов.

Методом полиномиальной аппроксимации результатов исследований микроэлементного состава выведены закономерности миграции, аккумуля-

ции ТМ в профилях почв. Приведенные в диссертации математические описания дифференциации элементов позволит устанавливать количественные зависимости между миграцией и послонной аккумуляцией ТМ в почвах.

По мнению многих исследователей (В.Г. Граковский с соавт., 1997; А.П. Виноградов, 1950; Г.В. Добровольский, Е.Д. Никитин, 1966 и др.) главным фактором, определяющим фоновое (природное) содержание элементов в почвах являются почвообразующие породы. Именно геохимические показатели почвообразующих пород возможно принять за региональный фон ТМ незагрязненной почвы данного региона. На основе исследований материнских пород основных типов почв разработана градация уровней загрязнения почв по 12 элементам (табл. 3). Региональный фон Zn, Cd, Cr, Mn, Ni, Mo, V меньше кларковых глобальных величин, а Cu, Pb, B, Co – больше.

Таблица 3. Градация почв по валовому содержанию и с учетом суммарного индекса элементов-загрязнителей, мг/кг

Элементы	Региональный фон	Градация уровней загрязнения почв				
		1 – незагрязненный	2 – низкий	3 – средний	4 – повышенный	5 – высокий
Zn	35±3	<35	35–70	70–105	105–140	145–175
Cu	27±4	<27	27–54	54–81	81–116	116–151
Pb	12±0,8	<12	12–24	24–36	36–48	48–60
Cd	0,18±0,02	<0,18	0,18–0,36	0,36–0,54	0,54–0,72	0,72–0,90
Cr	61±7	<61	61–122	122–183	183–244	244–305
Co	9±1	<9	9–18	18–27	27–36	36–45
B	27±1	<27	27–54	54–81	81–116	116–151
Mn	400±35	<400	400–800	800–1200	1200–1600	1600–2000
V	83±5	<83	83–166	166–249	249–332	332–415
Ni	20±2	<20	20–40	40–60	60–80	80–100
Sn	2,6 ±0,3	<2,6	2,6–5,2	5,2–7,8	7,8–10,4	10,4–13,0
Mo	0,7 ±0,07	<0,7	0,7–1,4	1,4–2,1	2,1–2,8	2,8–3,5
Zc <sub>12</sub>	–	<1	1–13	13–25	25–37	>37
Ус <sub>1</sub>	–	<0,08	0,08–1,08	1,08–2,08	2,08–3,08	>3,08

### Результаты почвенно-экологического мониторинга тяжелых металлов в агроэкосистемах

Атмотехногенный путь поступления металлов в ландшафты является главным источником загрязнения. Для того чтобы учесть возможную транслокацию загрязняющих веществ в природной среде, выявить связи между техногенными выбросами в биосферу и уровнем ее загрязнения, необходимо выявить количественные связи условий трансформации, миграции ТМ в атмосферу.

По данным государственной статистики территория Рязанской области подвержена неравномерному антропогенному воздействию. Промышленные предприятия региона расположены в следующий ряд: нефтеперерабатывающие, теплоэнергетические, строительных материалов, транспорта, машиностроительные и др. С целью изучения закономерностей формирования техно-

генных потоков нами разработана квалификационная шкала техногенной нагрузки.

Установлено, что 17 административных районов региона имеют низкие и очень низкие антропогенные нагрузки. Вокруг 8 административных образований (гг. Рязань, Пронск, Касимов, Сасово и др.) формируются источники техногенных выбросов с очень высокой, высокой, повышенной и средней нагрузками (табл. 4).

Таблица 4. Классификация техногенных источников региона по выбросам вредных веществ (среднее за 2002–2004 гг.)

Административные образования (районы)	Количество источников	Выброшено вредных веществ в атмосферу, тыс. тонн	Характеристика антропогенных нагрузок
г. Рязань + Рязанский район	87	53,308	Очень высокая
Пронский	10	36,276	
Касимовский	28	6,438	Высокая
Михайловский	13	11,028	
Спаский	8	2,808	Повышенная
Старожиловский	3	2,717	
Сасовский	17	1,158	Средняя
Скопинский	17	1,139	
Шиловский	12	0,866	Низкая
Ряжский	8	0,283	
Шацкий	8	0,079	
Кадомский	7	0,435	
Клепиковский	7	0,099	
Кораблинский	7	0,307	
Сараевский	7	0,148	

Изучение концентраций Pb, Cd, Zn, Cu в атмосферных выпадениях проводили в два этапа: 1993–1999 гг. и 2001–2009 гг. Интенсивность атмосферных выпадений Zn, Cd была выше в первом этапе исследований (табл. 5), вероятно из-за снижения загрязняющих веществ с 135,8 тыс. т в 2000 г. до 118,9 тыс. т в 2004 г. В тоже время концентрация Pb в осадках летнего и зимнего периодов напротив увеличилась. Это, вероятно, произошло из-за резкого увеличения количества автомашин в регионе и соответственно их выбросов. Поступившие из атмосферы природные и техногенные загрязняющие вещества включаются в биогенную, водную миграцию, аккумулируются в почвенном покрове, включаются в большой геологический круговорот.

Таблица 5. Среднегодовое содержание тяжелых металлов в атмосферных осадках по этапам исследований, мг/л·10<sup>-2</sup>

Элементы	1993–1999 гг.			2001–2009 гг.		
	Атмосферные осадки		Среднее за год	Атмосферные осадки		Среднее за год
	летние	зимние		летние	зимние	
Pb	12,1	5,2	8,4	38,6	9,3	21,0
Cd	0,86	0,40	0,61	0,36	0,38	0,37
Zn	37,3	10,5	23,9	19,4	11,9	15,2
Cu	26,2	3,2	13,9	24,0	4,2	13,1

Почти вся территория Рязанской области (95%) находится в пределах окского бассейна, испытывающего техногенный пресс, который вызывает цепь изменений в гидрохимическом потоке элементов. Выход части вещества из биологического круговорота – один из источников глобальных перемещений ТМ. В созданном экополигоне «Мещера» изучались внутрипочвенная миграция Pb, Cd, Zn, Cu в подземные и в поверхностные воды местного водного объекта в 1998–1999 гг. и с 2001 по 2008 г.

Анализ динамики сезонных и среднегодовых концентраций Zn, Pb в водах (табл. 6, 7) указывает на то, что их показатели существенно снижаются ко второму этапу исследований. Так, значительно меньше поступало Cu в поверхностные воды водного объекта, но произошло некоторое накопление в водах Cd. В подземных водах среднегодовые показатели содержания токсиканта возросли с 1,9 до 2,17 мг/л·10<sup>-2</sup>, в поверхностных – с 1,12 до 1,73 мг/л·10<sup>-2</sup>.

Таблица 6. Содержание Zn, Cu, Pb, Cd в подземных водах экополигона «Мещера», мг/л·10<sup>-2</sup>

Элементы	Год исследований	Март-май	Июнь-август	Сентябрь-декабрь	Средние годовые показатели
Pb	1998–1999	19,8±4,0	16,5±3,7	25,6±5,5	21,3±3,4
	2001–2007	11,2±4,6	9,2±1,6	14,4±2,5	13,4±3,2
Cd	1998–1999	1,31±0,35	1,45±0,36	2,70±0,64	1,91±0,41
	2001–2007	1,46±0,31	2,21±0,77	3,02±0,7	2,17±0,52
Zn	1998–1999	38,6±10,0	22,0±5,1	30,7±6,9	30,5±5,0
	2001–2007	17,7±7,4	15,3±7,7	30,0±8,7	23,9±7,5
Cu	1998–1999	2,6±0,7	3,2±0,6	5,6±1,1	4,0±0,7
	2001–2007	2,61±0,62	3,73±0,94	3,61±0,75	3,72±0,83

Таблица 7. Результаты исследований техногенной ситуации в водном объекте экополигона «Мещера», мг/л·10<sup>-2</sup>

Элементы	Годы наблюдений	Март-май	Июнь-август	Сентябрь-декабрь	Средние годовые показатели
Pb	1998–1999	10,2±3,3	11,0±1,3	15,0±4,6	12,5±2,4
	2001–2007	8,7±1,3	8,9±0,8	10,8±1,2	9,8±0,5
Cd	1998–1999	0,93±0,09	0,75±0,08	1,43±0,27	1,12±0,36
	2001–2007	1,53±0,3	1,38±0,23	2,25±0,30	1,73±0,46
Zn	1998–1999	15,9±6,3	21,1±7,4	17,2±2,3	18,1±3,2
	2001–2007	11,5±1,7	13,8±2,7	12,6±1,4	12,8±1,6
Cu	1998–1999	1,8±0,8	7,2±0,9	5,8±1,8	5,0±1,8
	2001–2007	2,8±0,4	3,7±0,5	3,0±0,3	3,2±0,4

Как ранее было отмечено, в последнее время происходит снижение антропогенной нагрузки на ландшафты региона. Снижение эмиссии Zn в атмосферу во втором этапе исследований привело к уменьшению накопления его в инфильтрационных водах весеннего и летнего периодов, а в воде малой речки полигона – во все периоды исследований. В противоположность этому концентрация Zn и Pb во всех изучаемых периодах снизилась во втором этапе исследований, хотя содержание Pb было выше в атмосферных осадках. Такое явление, вероятно, связано с тем, что на экополигоне, как и на всех

сельскохозяйственных угодьях региона, уменьшилась интенсивность технологических воздействий, увеличилась площадь необработанной пашни, образовались залежи. Новообразованная дернина, ее органическое вещество, может значительно больше адсорбировать ионы Pb по сравнению с Zn и Cd (Д.Л. Пинский, 1983). Поэтому снижается токсическое действие на подземные и поверхностные воды.

Исследования 2006 г. позволили уточнить, дополнить и подтвердить результаты исследований 1995 г. Из 62 опробованных элементов ограничили следующими: Zn, Cu, Cd, Pb, Mo, Mn, V, Co, Ni, V, Sn, а также As, Hg. При этом для As, Hg за фоновый критерий приняты их кларки в земной коре. Первые 11 элементов в почвах региона содержатся в разной степени превышающих региональный геохимический фон. Как известно, геохимическая ситуация территорий складывается из специфических физико-химических свойств отдельных почв. Буферность почв и всей экосистемы по отношению к воздействию техногенных потоков зависит от совокупности процессов вымывания техногенных соединений за пределы почвенного профиля, фиксации геохимическими барьерами и перевод их в недоступное для растений формы, а также разложение токсичных форм до неопасных для живых организмов (М.А. Глазовская, 1998; Л.П. Бахаева, 1997; А.М. Илялетдинов, 1984).

Для выявления количественных показателей экологического состояния агроэкосистем нами проведен пробоотбор вблизи г. Рязани и в ключевых точках региона на основных типах почв. В результате установлено, что стационарные точки наблюдений, расположенные к юго-востоку от г. Рязани на расстоянии от 5 до 20 км, испытывают высокую техногенную нагрузку. Почвы этой территории накопили Zn, V, Pb, Cd, As до уровней повышенной, средней и низкой загрязненности (табл. 8). При этом аллювиальные почвы ООО «Рязанская пойма» ближе всех расположены к г. Рязани и р. Ока. Концентрация Zn в них достигает повышенного уровня загрязнения, а Cd и Pb – среднего, накопление As и Hg – выше мирового кларка. Другие элементы перешли порог незагрязненной почвы и оцениваются как низкий уровень загрязнения. В почвах ЗАО «Московское», расположенных дальше ООО «Рязанская пойма», концентрация элементов в них несколько меньше. На первое место в комплексе загрязнителей выступает ванадий, который поступает в значительных количествах из выбросов местных котелен близлежащих поселений. Накопление других поллютантов в почвенном покрове оцениваются как низкое и среднее загрязнения. Другие точки наблюдения расположены на дерново-подзолистой супесчаной и легкосуглинистой почвах. Лесистая территория способствует задержанию атмосферного потока ТМ, а легкий гранулометрический состав почвы и почвообразующих пород – выносу их из корнеобитаемого слоя (Заборье, аграрный техникум).

В Касимовском, Шиловском и Клепиковском районах, где находятся в основном дерново-подзолистые почвы, при исследовании почвенных проб прослеживается влияние выбросов Касимовского завода цветных металлов в загрязнении педосферы Cu. Непосредственная близость завода к пашне

Таблица 8. Интенсивность загрязнения разных агроэкосистем (2006 г.), мг/кг

Элементы	Регион. фон	Рязанский район					Дерново-подзолистые почвы							
		1	2	3	4	Среднее	5	6	7	8	9	Среднее		
Zn	35	96,6	145	67,2	57,7	86,4+17	34,3	52,4	27,2	25,0	38,5	35,3+5,1		
Cu	27	48	66	52,8	39	53,4+10	32,2	43,3	40,8	39,9	55,0	38,8+6		
Pb	12	27	37	21,8	21,5	30,3+5	17,1	23,6	9,8	11	16,9	16,2+2,6		
Cd	0,18	0,51	0,62	0,28	0,28	0,43+0,09	0,18	0,48	0,14	0,123	0,093	0,21+0,08		
As	–	6,5	6,1	2,91	3,88	4,73+0,84	1,09	6,2	1,73	2,43	1,47	2,4+0,93		
Hg	–	0,097	0,097	0,087	0,052	0,080+0,008	0,044	0,019	0,047	0,06	0,065	0,047+0,008		
Mo	0,7	1,3	1,5	0,77	1,69	1,31+0,40	0,86	1,13	0,94	1,11	0,93	0,96+0,11		
Mn	400	717	855	562	628	700+95	728	738	487	335	516	587+110		
Co	9	14,8	14,0	7,7	8	11+1,9	6,4	12,5	5,6	6,8	6,5	7,2+1,1		
Ni	20	39	30	20	23,2	26,6+4,4	23,3	32,2	13,3	15,3	15,1	18,4+2,5		
V	83	341	47	175	84,9	133+47	60,8	100,2	91,5	95	160	80,2+13,9		
Sn	2,6	5,5	6,5	4,6	3,1	5,0+0,9	2,7	3,4	2,8	3,5	4,0	2,92+0,65		
Элементы	Регион. фон	Чернозем						Серые лесные почвы						
		10	11	12	13	14	Среднее	15	16	17	18	19	Среднее	
Zn	35	43,1	60,8	52,5	50,2	67,1	55,6+5,1	38,8	56,0	36,3	52,6	71,7	46,9+5	
Cu	27	55	38,9	79,5	48,8	20,5	44,9+6,0	32,9	36,4	41,9	58,4	88,5	50,6+5,9	
Pb	12	15,4	28,3	15,5	19,4	15,5	18,8+2,0	18,9	28,6	14,9	29,3	37	23,2+3,2	
Cd	0,18	0,27	0,32	0,38	0,29	0,29	0,31+0,03	0,28	0,28	0,18	0,39	0,23	0,26+0,04	
As	–	4,0	4,79	3,43	4,35	4,0	4,1+0,3	3,69	3,8	1,26	3,3	3,8	3,07+0,48	
Hg	–	0,051	0,056	0,056	0,054	0,054	0,054+0,006	0,033	0,046	0,065	0,046	0,0555	0,050+0,008	
Mo	0,7	0,79	1,08	0,97	1,84	0,69	1,14+0,27	0,74	0,81	0,70	0,96	0,86	0,84+0,07	
Mn	400	415	594	659	595	804	621+98	716	675	711	790	805	737+94	
Co	9	10,5	12,7	13,5	15,6	11,3	12,8+1,3	10,8	11,3	9,0	15,6	9,9	11,3+1,1	
Ni	20	27	35,3	31,7	26,5	31,7	31,3+2,9	30	29,8	18,6	28,6	25	25,8+2,4	
V	83	153,7	132,6	240	148	161,7	165+23	250	82	76,61	253	100	156+39	
Sn	2,6	1,53	3,42	1,6	3,1	1,5	2,57+0,56	3,02	2,96	2,0	3,7	2,5	2,8+0,4	

Примечание: под №№ 1 – ЗАО «Московское»; 2 – ООО «Рязанская пойма»; 3 – ЗАО «Заборье»; 4 – СУЗ Рязанский аграрный техникум; 5 – СПК «Пролетарское»; 6 – ООО «Тюково»; 7 – ООО «Пригородное»; 8 – СПК «Борьба»; 9 – СПК Дружба; 10 – СПК «Эра»; 11 – СПК «Мичуринский»; 12 – ООО «Эверест-Захарово»; 13 – СПК «Горняк»; 14 – ООО «Ладога»; 15 – ООО «Рязанские сады»; 16 – ТОО «Сапожковское»; 17 – СПК «Заря»; 18 – СПК «Альютново»; 19 – СПК «Колос».

СПК «Дружба» повлияла на накопление Cu до 80 мг/кг, а в двух других точках, ООО «Пригородное» и СПК «Борьба», 55–57 мг/кг (исследования 1995 г.). Средние показатели в СПК «Дружба» 1995 г. – 60 мг/кг, а в 2006 –  $55 \pm 12$  мг/кг, что превышает региональный фон больше чем в 2 раза. В двух других хозяйствах, в которых содержание Cu в почвах находилось в пределах 39,9–40,8 мг/кг, произошло увеличение элемента, но менее чем в 1,5 раза. В дерново-подзолистых оторфованных почвах ООО «Тюково» накопление Cd составляло в среднем 0,48 мг/кг, что больше регионального фона в 2,7 раза. Все другие элементы имели превышение регионального фона в 1,2–2 раза. В среднем дерново-подзолистые почвы оцениваются как имеющие низкий уровень загрязнения.

В лесостепных и степных зонах области, характеризующихся наибольшим распространением серых лесных и черноземных почв, среднее содержание Pb составляло соответственно  $23,3 \pm 3,2$  и  $18,8 \pm 2,0$  мг/кг, Cu –  $50,6 \pm 5,9$  и  $44,9 \pm 6$ , Cd –  $0,26 \pm 0,04$  и  $0,31 \pm 0,03$ , V –  $156 \pm 39$  и  $165 \pm 23$ , Zn –  $46,9 \pm 5$  и  $55,6 \pm 5,9$  мг/кг и т.д. Эти средние показатели указывают на низкую степень загрязнения. Анализ результатов в индивидуальных точках позволили выявить существенную техногенную эмиссию потока Pb и Cd. Так, в почвах СПК «Колос» содержание Pb составило  $37 \pm 8$  мг/кг, что оценивается как повышенный уровень загрязнения. Отмечены индивидуальные точки с содержанием его 50 мг/кг. В других точках Pb было значительно меньше и характеризовалось средним уровнем загрязнения. Экоотоксикант Cd в среднем в лесостепных и степных почвах накопился до низкого уровня. Более высокое аккумулятивное произошло в почвах СПК «Альютново» ( $0,39 \pm 0,14$  мг/кг) и ООО «Эверест – Захарово» ( $0,39 \pm 0,09$  мг/кг), то есть средний уровень загрязнения. Такой элемент ванадий, который попадает в педосферу от угля, мазута, выходит на первые позиции приоритетных металлов. В Альютнове  $253 \pm 60$  мг/кг, Рязанских садах –  $250 \pm 43$ , Эвересте –  $240 \pm 51$  мг/кг, что по региональной градации – повышенный и средний уровни загрязнения. Cu, Zn, Mn, В, Со в среднем превысили региональный геохимический фон. На фоне низкого загрязнения выделяются почвы СПК «Колос», в которых концентрируются Cu ( $88,5 \pm 7$  мг/кг), Zn ( $71,7 \pm 26$  мг/кг), Mn ( $805 \pm 112$  мг/кг); СПК «Альютново» – Cu ( $58,4 \pm 13$  мг/кг), Mn ( $790 \pm 99$  мг/кг); ООО «Эверест» – Cu ( $79,5 \pm 4,2$  мг/кг); СПК «Горняк» – Mo ( $1,84 \pm 0,43$  мг/кг); ООО «Ладога» – Mn ( $804 \pm 168$  мг/кг); СПК «Эра» – Cu ( $55,0 \pm 10$  мг/кг). Такая концентрация расценивается как среднее загрязнение и требует особого экологического внимания.

Итак, ассоциация металлов в почвенном покрове региона создается под влиянием трансграничного переноса и местных источников. Это аэрозоли Рязанской ГРЭС, промышленных предприятий, пылевые воздействия пустых шахтных пород, выбросы Скопинского и Касимовского заводов цветных металлов и др. указанные выше источники.

Результаты регионального мониторинга состояния агроценозов региона указывают на то, что антропогенные выбросы остаются значительными, чем

определяется соответствующий уровень в положительных балансах ТМ. Особенно следует отметить высокое поступление Pb. Наметилась тенденция снижения положительных балансов Zn, Cu. Баланс Cd стал отрицательным.

### Экспериментальная оценка фитомелиорации как способа детоксикации загрязненных тяжелыми металлами почв

В условиях вегетационных опытов изучалось влияние шестикратной концентрации Pb, Cd, Zn, Cu фона дерново-подзолистой супесчаной почвы на накопление и распределение ТМ по частям растений. В загрязненной почве максимальное накопление ТМ наблюдалось в корнях овса, в среднем 53,8% от общего поступления. В люпине узколистном в зависимости от органа растения на загрязненной почве обнаружена интенсификация аккумуляции Cd на 40–60%, Pb – 21–77, Zn – 23–101, Cu – 107–216%.

Анализ продуктивности люпина в полевых исследованиях показал, что загрязнение почвы до уровней 3, 4, 5 фонов привело к фитотоксичности посевов. Снижение урожая (в среднем за 3 года) отмечено на 21–31%. Но в последний год исследований [2005] не наблюдалась фитотоксичность ТМ на люпине. Вероятно, монокультура – люпин узколистный, адаптируясь к биохимическим процессам в почве, способствовала регенерации техногенно загрязненных почв.

Таблица 9. Среднее содержание ТМ в структуре урожая люпина узколистного (2003–2005 гг.), мг/кг

ВАРИАНТЫ ОПЫТА	Pb			Cd		
	Зерно	Створки бобов	Стебли + листья	Зерно	Створки бобов	Стебли + листья
Контроль (фон)	1,03	1,47	1,96	0,14	0,22	0,25
3 фона	1,22	1,67	6,03	0,19	0,32	1,14
4 фона	1,28	1,58	11,77	0,21	0,34	2,46
5 фонов	1,48	1,43	8,53	0,23	0,22	2,05
НСР <sub>0,95</sub>	0,20	0,19	2,49	0,05	0,04	0,28

Продолжение таблицы 9

ВАРИАНТЫ ОПЫТА	Zn			Cu		
	Зерно	Створки бобов	Стебли + листья	Зерно	Створки бобов	Стебли + листья
Контроль (фон)	38,0	36,4	35,1	4,29	8,46	6,9
3 фона	42,3	69,4	176,2	5,30	8,72	89,1
4 фона	50,3	75,1	218,4	6,83	9,04	108,1
5 фонов	42,7	47,1	235,7	7,50	4,90	97,4
НСР <sub>0,95</sub>	6,4	20,5	22,8	1,28	1,52	28,5

Под влиянием загрязнения почв ТМ происходит существенное повышение выноса поллютантов всеми частями растения. При этом концентрация Zn и Cu в зерне находилась в пределах ПДК, а Pb и Cd – превышала ПДК. (табл. 9). Побочная продукция (стебли + листья) концентрировали Zn 176,2–235,7 мг/кг, Cu – 89,1–108,1, Pb – 6,03–11,77 мг/кг. Под влиянием высоких

концентраций ТМ изменяется проницаемость клеточных мембран, происходят реакции тиольных групп с катионами Pb, Cd, возникает конкуренция с жизненно важными метаболитами, что, в конечном счете, отражается на загрязнении продукции.

Сорняки, являясь конкурентами культурных растений, могут исполнять роль фитопротекторов. Анализ содержания Pb, Cd, Zn, Cu в надземной фитомассе травянистых растений позволил выделить луговик дернистый, как вид с высокой металлоаккумулирующей способностью на загрязненной почве по сравнению с фоном (табл. 10). В то же время марь белая, вероятно, обладает высоким механизмом барьерного поглощения металлов, но имеет высокую потребность в Zn (в 2–3 раза). Тимофеевка луговая более интенсивно поглощала Cd. Поэтому при определенном целенаправленном подборе растений на почвах, загрязненных токсикантами, открывается возможность фитопротекторного способа снижения загрязненности растениеводческой продукции.

Таблица 10. Влияние тяжелых металлов на накопление Zn, Cu, Pb, Cd в сорной растительности, мг/кг абсолютно сухой массы

Варианты	Тимофеевка луговая				Луговик дернистый				Марь белая			
	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu
Фон	1,07	0,27	55	2,5	2,23	0,19	67	3,0	2,21	0,14	146	8,1
3 фона	1,84	0,32	66	4,1	3,31	0,36	90	7,0	2,71	0,17	129	9,2
4 фона	2,24	0,36	111	5,7	2,47	0,57	280	16,3	2,83	0,21	120	10,3
5 фонов	3,55	0,42	143	6,7	2,70	0,59	312	16,4	3,07	0,26	131	10,6
НСР <sub>0,95</sub>	0,32	0,04	7,63	0,5	0,32	0,07	20,9	2,1	0,20	0,05	18	0,5

Балансовый анализ тяжелых металлов в опыте выявил, что Pb на всех вариантах увеличивался в среднем за год на 47,3–89,5 г/га. Для других поллютантов баланс сложился отрицательный на загрязненных вариантах: Cd – 1,46–5,11 г/га, Zn – 202,7–408,6, Cu – 70,5–97,4 г/га.

### **Биодетоксикация загрязненных почв нефтью и нефтепродуктами**

С целью экологического исследования остаточного допустимого уровня загрязнения нефтепродуктами проведен лизиметрический опыт на водобалансовой станции учхоза «Стенькино» Рязанского ГАТУ. В основу экспериментальных исследований положена концепция об использовании загрязненных почв для сельскохозяйственного производства. Важная роль в распаде нефти и нефтепродуктов принадлежит органическому веществу, увлажнению почв не менее 18% и температуре 10–30°C. В качестве ориентировочно допустимой концентрации, а также базового показателя используется величина 1000 мг/кг нефти (Порядок ..., 1993; Метод. реком. ..., 1995).

Поэтому принятую величину 2 г/кг можно считать безопасной для здоровья (табл. 11).

Исследования проводили в период осенней подготовки почвы. Под зяблевую обработку серой лесной почвы согласно схеме провели ее загрязнение, полив водой, внесли навоз КРС и измельченные растительные остатки

(ботва свеклы и солома). Чередование культур в звене севооборота следующее: картофель, ячмень, клевер красный. Удобрения внесены оптимальными дозами.

Таблица 11. Схема полевого лизиметрического опыта, 1998–2001 гг.

№№ вариантов	Технологические исследования в вариантах	Сокращения в таблицах названий вариантов
1	Исходная почва	Контроль
2	Фон 1 – 2 г нефти на 1 кг почвы (Ф1)	Ф1
3	Фон 1 + вода 1,2 ПВ (В)	Ф1+В
4	Фон 1 вода 1,2 ПВ + навоз 4 кг/м <sup>2</sup> (Н)	Ф1+В+Н
5	Фон 1 + вода 1,2 ПВ + измельченные растительные остатки (Рос) 1 кг/м <sup>2</sup> (сухое вещество)	Ф1+В+Рос
6	Фон 2 – 2 г дизельного топлива на 1 кг почвы (Ф2)	Ф2
7	Фон 2 + вода 1,2 ПВ (В)	Ф2+В
8	Фон 2 + вода 1,2 ПВ + навоз 4 кг/м <sup>2</sup> (Н)	Ф2+В+Н
9	Фон 2 + вода 1,2 ПВ + измельченные растительные остатки (Рос) 1 кг/м <sup>2</sup> (сухое вещество)	Ф2+В+Рос

Агрохимические, агрофизические показатели определяли общепринятыми методами. Нефтепродукты, ТМ, сульфаты, сероводород определяли в аккредитованной лаборатории Рязанского НПЗ.

Загрязнители (нефть, дизельное топливо) на первой культуре в дозах 2 г/кг почвы только проявили небольшую фитотоксичность, урожай клубней снизился на 6,5–7,1%. В последующие годы фитотоксичность не наблюдалась. Полив водой не оказал ощутимого влияния. Комплексное использование воды и навоза резко увеличило выход продукции, особенно клубней. Суммарная эффективность составила 22,7–21,4%.

Основным фактором самоочищения нефтезагрязненной почвы является подвижность свободного О<sub>2</sub> в пористой среде, активность микроорганизмов, влажность, кислотность, ее тепловой режим (Г.В. Добровольский, 1984; М.А. Глазовская, 1979; J.C. et. al., 1990; А.Г. Ахмедов, 1982; Н.М. Исмаилов, 1982 и др.).

За 6-недельный осенний период без агротехнических мероприятий (фоны) наибольшей деструкции в почве подверглось дизельное топливо (80%), которого обнаружено 398 мг/кг, а нефти 1316 мг/кг (34%). За осенний период, во время подготовки почвы, лучшее самоочищение почвы наблюдалось при использовании полива водой и внесении навоза. Концентрация нефти снизилась до 728 мг/кг (64%), а дизтоплива – до 123 мг/кг (94%). Скорость разложения загрязнителей в весенне-летний период была выше, чем в осенний (табл. 12).

Загрязнение почв и снежного покрова нефтепродуктами влечет за собой изменения в биосфере. Возможность вымывания нефтепродуктов из загрязненных почв в грунтовые воды отражает степень их трансформации под воздействием физико-химических процессов, происходящих при радиальной и латеральной миграции в почвенно-грунтовой толще (М.А. Глазовская,

Ю.И. Пиковский, 1985; Н.П. Солнцева и др., 1996, 2002).

Таблица 12. Остаточная концентрация нефтепродуктов в почве, мг/кг

Загрязнители	Фоны				Фоны + вода			
	1	2/4	4/8	6/12	1	2/4	4/8	6/12
Нефть	<u>1770</u>	<u>1650</u>	<u>1452</u>	<u>1316</u>	<u>1440</u>	<u>1408</u>	<u>1331</u>	<u>1250</u>
	1147	550	285	146	1201	565	305	129
Дизельное топливо	<u>1865</u>	<u>1190</u>	<u>652</u>	<u>398</u>	<u>1003</u>	<u>852</u>	<u>798</u>	<u>402</u>
	313	169	78	42	417	170	60	33

Продолжение таблицы 12

Загрязнители	Фоны + вода + навоз				Фоны + вода + раст. остатки			
	1	2/4	4/8	6/12	1	2/4	4/8	6/12
Нефть	<u>952</u>	<u>855</u>	<u>718</u>	<u>650</u>	<u>1876</u>	<u>1333</u>	<u>960</u>	<u>728</u>
	650	550	247	117	605	310	160	79
Дизельное опливо	<u>1372</u>	<u>850</u>	<u>550</u>	<u>325</u>	<u>924</u>	<u>451</u>	<u>228</u>	<u>123</u>
	284	155	61	42	88	54	42	21

Примечание: в числителе – недели исследований в осенний период, в знаменателе – в весенне-летний.

Таблица 13. Влияние систем агротехнических мероприятий на загрязнение нефтепродуктами внутрипочвенных вод (мг/л)

Год, период	Дата отбора проб	Нефть				Дизельное топливо			
		Ф1	Ф1+В	Ф1+В+Н	Ф1+В+Рос	Ф2	Ф2+В	Ф2+В+Н	Ф2+В+Рос
1998, осенний	5.09	1,20	1,09	1,30	1,00	2,00	2,00	2,00	1,29
	15.09	0,94	1,10	1,01	1,18	1,74	2,04	1,82	1,13
	25.09	1,03	1,01	0,71	1,06	1,49	1,53	1,10	0,99
	5.10	0,70	0,92	0,30	1,12	1,29	1,11	0,59	0,78
	15.10	0,50	0,92	0,30	0,77	1,08	0,85	0,48	0,58
	25.10	0,51	0,81	0,18	0,71	0,75	0,60	0,48	0,41
	Сумма	4,88	5,85	3,80	5,84	8,35	8,13	6,47	5,18
	НСР <sub>0,95</sub>	0,27 мг/л							
1999, весенне-летний	5.05	0,50	0,40	0,30	0,50	0,50	0,40	0,30	0,30
	15.05	0,50	0,40	0,21	0,30	0,49	0,41	0,20	0,11
	25.05	0,41	0,41	0,10	0,21	0,40	0,30	0,20	0,10
	5.06	0,30	0,31	0,10	0,10	0,40	0,30	0,10	0,10
	15.06	0,21	0,20	0,10	0,10	0,28	0,21	0,10	0,05
	25.06	0,21	0,20	0,05	0,05	0,29	0,11	0,05	0,05
	Сумма	2,13	2,33	0,86	1,26	2,36	1,73	0,95	0,71
	НСР <sub>0,95</sub>	0,06 мг/л							

С целью оценки возможного попадания нефтепродуктов из почвы в грунтовые воды по периодам исследований и подекадно проводился пробоотбор лизиметрических вод (табл. 13). После первой декады в сентябре в вариантах с нефтью обнаружилось от 1,0 до 1,30 мг/л. В тоже время при загрязнении дизельным топливом от 1,29 до 2 мг/л в течение шести недель наблюдалось постепенное снижение концентраций во внутрипочвенных водах нефтепродуктов. Максимально вынесено дизельного топлива из корнеобитаемого в нижележащие слои почвы в вариантах Ф2 и Ф2+В в сумме 8,35,

8,13 мг/л соответственно. В вариантах с нефтью наиболее активно она реагировала при комплексном использовании воды + растительных остатков и только воды (5,84, 5,85 мг/л). С началом вегетационного периода 1999 г. в просочившейся через почву воде обнаружено от 0,30 до 0,50 мг/л нефтепродуктов. Фоны пропустили через почву практически одинаковое количество поллютантов. Максимально уменьшалось содержание нефтепродуктов к концу исследований в лизиметрических водах под действием навоза и растительных остатков – 0,05 мг/л.

В товарной нефти присутствуют в микродозах (мг/л) следующие элементы: Cu – 0,65, Zn – 1,05, Co – 0,20 и др. (М.Ю. Гилязов, 2000). Наблюдения за выносом элементов внутрипочвенным стоком показали, что концентрация их не превышала ПДК в водных объектах рыбохозяйственного назначения. Серая лесная почва лизиметрического опыта, как часть региональной экосистемы, имеет низкое, среднее загрязнение Cu и Zn. Хром содержится в пределах фона (табл. 14). Послойное изучение содержания нефтепродуктов в почве показало, что основная масса их обнаружена в корнеобитаемом слое. Нефть под влиянием навоза подверглась деструкции на 10,9%, а от растительных остатков – на 50%. Значительно активнее происходило очищение почвы от дизельного топлива соответственно на 11,3% и 72,6%. Миграция Zn и Cr в лизиметрические воды под влиянием нефти проходила более активно, чем на фоне дизельного топлива. Навоз снижал промывание Zn и Cu на Ф1.

Таблица 14. Влияние загрязнения почвы нефтепродуктами на содержание поллютантов в экосистеме лизиметрического опыта

Варианты	Почва, мг/кг				Лизиметрические воды, мг/л·10 <sup>-2</sup>				pH
	нефте-продукты	Zn	Cu	Cr	Zn <sup>+2</sup>	Cu <sup>+2</sup>	Cr <sup>+6</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>-4</sup>	
Ф1	1150	55,7	60,7	39,3	32,9	0,71	10,3	9,6	6,9
	880	52,0	54,7	38,4					
Ф1+В	1100	49,1	53,2	42,9	33,3	0,61	9,0	19,8	6,8
	760	50,8	51,0	40,9					
Ф1+В+Н	1025	70,2	54,9	47,3	28,4	0,51	10,2	17,5	6,8
	590	66,4	59,3	46,0					
Ф1+В+Рос	575	71,3	53,8	48,5	35,0	0,76	8,6	7,0	6,4
	386	71,0	51,8	45,5					
Ф2	310	40,3	45,1	48,8	29,0	0,75	9,1	9,2	7,0
	212	36,8	40,6	48,0					
Ф2+В	310	37,9	33,2	40,1	30,9	0,68	10,5	8,8	6,7
	212	35,3	30,4	38,0					
Ф2+В+Н	275	45,8	54,9	45,8	35,3	0,65	9,7	14,9	6,8
	186	42,0	55,1	42,1					
Ф2+В+Рос	85	47,2	55,3	46,1	30,4	0,77	10,5	12,9	6,5
	74	44,1	54,5	44,9					
Региональ-ный фон	–	35	27	61	–	–	–	–	–
НСР <sub>0,95</sub>	267	5,9	9,1	5,1	2,7	0,09	0,8	1,9	0,2

Примечание: в числителе содержание в слое 0–20 см, в знаменателе – 0–50 см.

Для оценки окружающей природной среды (ОПС), загрязненной нефтепродуктами введен показатель экологического качества (ПЭК), который рассчитывался по формуле:

$$\hat{P}E\hat{K} = \hat{I}g + \frac{\sum_{i=1}^n \hat{I}gni}{\sum_{i=1}^n \hat{I}gni + n},$$

где  $\hat{I}g$  – значение доминирующего параметра;  $\hat{I}gni$  – значение дополнительного параметра;  $n$  – число дополнительных параметров.

Для комплексной оценки, выраженной в баллах, ПЭК ОПС дополнительно введены характеристики всех ее компонентов: содержание нефтепродуктов и химических элементов в слое 0–50 см (табл. 14) и почвенно-грунтовых водах (табл. 13).

Итак, в загрязненной почве (2 г/кг) в течение 1 этапа исследований произошло очищение ПЭК = 0,93 балла, но окружающая природная среда (ОПС) в целом подверглась загрязнению компонентами, содержащимися в почвенно-грунтовом стоке. Уровень загрязнения оставался низким, т.к. ПЭК ОПС составлял всего 1,23–1,96 балла. При таком уровне допустимо использование земель для производства пищевой продукции без ограничения.

### **Агрохимические приемы детоксикации почв**

Разработка приемов восстановления плодородия загрязненных ТМ почв с целью улучшения экологических функций почвы является одним из способов снижения их поступления, как в растения, так и в природные воды. При взаимодействии ТМ с органическим веществом, карбонат- и фосфат-ионами происходит переход элементов в недоступное для растений состояние. На этой концепции исследуются и научно обосновываются системы применения удобрений в севооборотах для юга Нечерноземной зоны РФ.

В длительном (40 лет) полевом опыте на фоне парных комбинаций удобрений (РК, НК, НР) исследовались различные формы минеральных удобрений (аммиачная селитра – Наа, мочевины –Nm, суперфосфат – Рдс, фосфоритная мука – Рф, калийная соль – Ккс). В среднем на 1 га вносилось N – 80, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 60, K<sub>2</sub>O – 70 кг/га. Исследования показали, что длительное внесение минеральных удобрений не привело к существенным изменениям валовых количеств ТМ, мобильности токсичных ТМ и микроэлементов (табл. 15).

Растения до определенной степени обладают защитными свойствами от транслокации ТМ, которые влияют на функциональные свойства растительного организма. Загрязнение почвы формирует экологически опасную продукцию, создает угрозу загрязнения грунтовых вод.

Рациональное применение удобрений и направленное регулирование плодородия почвы являются не только высокоэффективными способами интенсификации продукционного процесса культурных растений, но и устойчивого функционирования агроэкосистемы. Оптимизируя корневое питание

посевов, питательный режим почвы, ее физико-химические и биологические свойства, посредством известкования и применения минеральных и органических удобрений создаются условия снижения фитотоксичности ТМ.

Таблица 15. Влияние систематического применения минеральных удобрений на накопление разных форм тяжелых металлов в серой лесной почве (мг/кг)

Варианты	Pb			Cd			Zn			Cu		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Б/у	0,57	3,93	19	0,040	0,147	0,29	0,72	7,90	58	0,07	5,23	24
PK	0,67	7,40	18	0,030	0,140	0,23	0,56	7,21	59	0,05	4,07	20
NK	0,47	4,73	18	0,040	0,100	0,27	0,67	8,09	53	0,07	4,51	24
NP	0,57	4,80	18	0,030	0,160	0,24	0,76	7,07	59	0,39	4,60	22
PK+Naa	0,53	6,30	19	0,030	0,137	0,27	0,79	14,8	53	0,08	5,17	22
PK+Nм	0,50	5,87	19	0,030	0,150	0,27	0,91	8,58	54	0,07	5,42	21
NK+Pсд	0,40	5,00	19	0,030	0,140	0,27	1,00	8,60	53	0,11	5,87	22
NK+Pф	0,37	5,90	18	0,040	0,140	0,26	0,83	7,02	52	0,10	5,09	21
NP+Kкс	0,40	5,13	19	0,030	0,140	0,25	0,60	10,70	51	0,09	4,72	21
HCP <sub>0,95</sub>	0,10	0,80	–	0,006	0,050	–	0,23	1,30	–	0,03	0,79	–

Примечание: – экстрагенты 1 – ацетатно-аммонийный буфер pH 4,8; 2 – 1 М HNO<sub>3</sub>; 3 – валовое содержание.

Экспериментальные исследования проводили в условиях повышенного загрязнения Pb, Cd, Zn, Cu дерново-подзолистой супесчаной почвы и оподзоленного чернозема. Для реабилитации комплексного загрязнения почв исследовались в севооборотах разные системы удобрений на фоне известкования, доведения pH до 6,0–6,7. Органо-минеральные системы на дерново-подзолистой почве исследовались в трех вариантах, где на фоне 40 т/га навоза (1 раз в 4 года) и ежегодного внесения NK-удобрений проводили сравнение эффективности периодического внесения суперфосфата P120 (1 раз в 2 года) и P240 (1 раз в 4 года). Органическая система – навоз 80 т/га и минеральная, где использовали в запас высокую дозу P480 на фоне NK. Оптимизируя корневое питание сельскохозяйственных культур, за счет удобрений на загрязненных дерново-подзолистых почвах улучшаются условия роста и развития растений. В условиях загрязнения ТМ следует учитывать генетическую адаптацию растений к ним, ведущую к функциональным отклонениям. В экспериментах пять систем удобрений исследовались в кормовых севооборотах. В таблице 16 представлены обобщенные результаты. На варианте с исходной почвой сформировался небольшой урожай, но средняя продуктивность варианта была меньше на 2,1 ц/га (15%), чем на загрязненном варианте без агрохимических средств. На этих вариантах, как в лизиметрическом, так и в мелкоделяночном опытах, формировался урожай минимальный. Растения испытывали фитотоксичность, они рано усыхали, когда в других вариантах продолжали активно вегетировать.

Исследуемые системы удобрений в данных опытах проявляли определенную закономерность. Максимальная эффективность получена от применения органо-минеральной системы, где изучали периодичность внесения навоза и P240. Прибавки кормовых единиц с 1 га составили 43,9 ц и 14,7 ц

(249% и 104%). В тоже время другие системы удобрений обеспечивали повышение ежегодной средней продуктивности дерново-подзолистой почвы по сравнению с вариантом без удобрений на 120–153% и на 51–87%.

Таблица 16. Продуктивность загрязненной тяжелыми металлами дерново-подзолистой супесчаной почвы при применении разных систем удобрений (ц/га корм. ед.)

Варианты	Лизиметрический опыт			Мелкоделяночный опыт		
	Средняя продуктивность	Прибавки		Средняя продуктивность	Прибавки	
		ц/га	%		ц/га	%
Исходная почва	–	–	–	16,3	2,1	15
Б/у (фон)	17,6	–	–	14,2	–	–
H40 N1P1K1	44,3	26,7	152	21,5	7,3	51
H40P120 N1K1	44,6	27,0	153	26,3	12,1	85
H40P240 N1K1	61,5	43,9	249	28,9	14,7	104
H80	42,0	24,4	139	22,8	8,6	61
P480 N1K1	38,8	21,2	120	26,6	12,4	87

Исследования систем применения удобрений в севообороте на оподзоленном черноземе выявили те же закономерности продуктивности, что и на дерново-подзолистой почве. Во все годы исследований порядок эффективности систем применения удобрений: органо-минеральная, органическая, минеральные (H100N1P1K1 > H100 > P120(e)N1K1).

Итак, в наших исследованиях наиболее эффективная система удобрений – органо-минеральная. В лизиметрическом опыте с 1998 по 2004 гг. изучалось влияние среднего (Zc 18,1), высокого (Zc 60,6) и чрезвычайно опасного (Zc 188) уровней загрязнения Pb, Cd, Zn, Cu на фитотоксичность культур севооборота. Продуктивность 1 гектара снижалась под влиянием загрязнения соответственно на 5%, 29%, 62% (табл. 17).

Таблица 17. Влияние органо-минеральной системы (H40P240N60-90K60-120) в севообороте на разных уровнях загрязнения, ц/га корм. ед. Лизиметрический опыт

Варианты		Продуктивность загрязненной почвы за 1998–2004 гг.			Детоксикация загрязненной почвы за счет применения органо-минеральной системы удобрений		
		Средняя	Изменения		Средняя продукт., 2006–2008 гг.	Изменения	
			ц/га	%		ц/га	%
Контроль		35,6	–	–	44,5	–	–
Уровень загрязнения	Средний Zc 18,1	33,7	-1,9	-5	45,1	+0,6	+1,3
	Высокий Zc 60,6	25,2	-10,4	-29	44,6	+0,1	+0,2
	Чрезвычайно опасный Zc 188,0	13,6	-22,0	-62	29,1	-15,4	-34,5

Внесение в севообороте 40 т/га навоза под кормовую свеклу, P240 – под озимую рожь и ежегодно в зависимости от культуры N60-90, K60-120 получили высокую продуктивность 1 гектара – 44,5 ц корм. ед. Используемая система удобрений приблизила выход основной продукции с 1 гектара к не-

загрязненному варианту (45,1 ц/га, 44,6 ц/га). Только на варианте с чрезвычайно опасным уровнем загрязнения проявилась фитотоксичность, сбор продукции с 1 га снижался до 29,1 ц.

Нами прослежено влияние применяемых систем удобрений на содержание гумуса, являющегося интегральным показателем плодородия почвы, источником биогенных элементов, улучшателем физико-химических и иных ее свойств. Насыщенность 1 га посевной площади органическими удобрениями в опытах несколько различались, но интенсивность накопления гумуса от различных агрохимических средств были сходными. Эти увеличения укладывались на дерново-подзолистой почве в 6–28%, на черноземе – в 6–25% (табл. 18).

Процесс гумификации обусловлен факторами почвообразования, а фракционный состав гумуса – минералогическим составом. ГК позволила выявить, что наиболее ценная ГК-2, связанная кальцием, повышалась только в черноземе под влиянием систем удобрений. В дерново-подзолистой почве увеличивались концентрации ГК 1-ой и 3-ей фракций. На них заметное влияние оказывали варианты P480 и H40P120 на фоне N1K1. Сравнивая действия систем удобрений на качество гумуса в загрязненных почвах, выявлено, что удобрения в черноземе увеличивали содержание ГК на 10–45%, ФК – 8–51%, в дерново-подзолистой почве повышалась концентрация ГК на 19–42%, ФК оставалась без изменений.

Что касается биологической активности, то судя по эмиссии CO<sub>2</sub> в черноземе, этот показатель был самым низким в варианте без удобрений, составляя в среднем 9,94 мкмоль г/час и P120(e)N1K1 – 10,11 мкмоль г/час, средний – в вариантах H100, P120(e)N1K1 (2, 6) и высокий – в вариантах H100N1P1K1, P4N1K1 (3, 5). Это объясняется тем, что поллютанты, загрязняющие почву, угнетают функционирование почвенного микробоценоза.

Для сопоставления микробиологических показателей по совокупности изученных параметров их сгруппировали в два кластера: без агрохимических мероприятий (Б/у) и с системами удобрений. Оценку состояния микробных сообществ в черноземе проводили, используя данные о функциональном биоразнообразии, полученные на основе анализа спектров потребления органических субстратов методом мультисубстратного тестирования. В изученных микробных системах наиболее информативным является коэффициент  $g$ , отражающий стабильность сообщества, который позволил оценить микробные сообщества по шкале благополучия и стабильности (рис. 2). Наиболее благоприятные условия созданы в вариантах P4N1K1 (5) и P120(e)N1K1 (6), где коэффициенты ранговых распределений  $g$  определены от 0,1 до 0,4,  $C_g > 0,972$ . Это устойчивая стабильная микробная система. В вариантах H100N1P1K1 (3) и P220(e)N1K1 (4), в которых коэффициенты  $g$  – 0,4–0,8,  $C_g > 0,976$ , отражают информацию о сообществах, находящихся под обратимым воздействием загрязнения. В почве варианта H100 сформировалась система микробного сообщества с истощенными ресурсами, но имеется возможность восстановления равновесия. В варианте Б/у в почве необратимо

Таблица 18. Действие разных систем удобрений на групповой и фракционный состав гумуса загрязненных тяжелыми металлами почв (Сфр к почве, %)

№№ вариантов	Варианты	Гуминовые кислоты				Фульвокислоты				Гумины	Сумма фракций	C <sub>орг</sub>	C <sub>гк</sub> /C <sub>фк</sub>	
		1	2	3	сумма фракций	1	2	3	сумма фракций					
Дерново-подзолистая супесчаная почва														
1	Б/у	0,16	0,10	0,10	0,36	0,10	0,08	0,08	0,26	0,30	0,92	0,93	1,38	
2	H40N1P1K1	0,17	0,07	0,12	0,36	0,13	0,02	0,10	0,25	0,29	0,90	0,92	1,43	
3	H40P120N1K1	0,15	0,04	0,24	0,43	0,10	0,10	0,08	0,28	0,25	0,96	0,99	1,52	
4	H40P240N1K1	0,21	0,12	0,16	0,49	0,09	0,05	0,15	0,29	0,32	1,10	1,12	1,65	
5	H80	0,19	0,11	0,19	0,49	0,15	0,02	0,10	0,28	0,35	1,12	1,13	1,79	
6	P480N1K1	0,25	0,02	0,24	0,51	0,14	0,14	0,04	0,29	0,35	1,15	1,18	1,75	
Чернозем оподзоленный тяжелосуглинистый														
1	Б/у	0,15	0,24	0,28	0,67	0,06	0,20	0,11	0,37	1,13	2,17	2,19	1,79	
2	H100	0,08	0,60	0,29	0,97	0,18	0,18	0,20	0,56	1,16	2,70	2,74	1,74	
3	H100N1P1K1	0,11	0,39	0,28	0,78	0,06	0,17	0,21	0,43	1,26	2,47	2,49	1,79	
4	P2N1K1	0,10	0,49	0,29	0,88	0,05	0,25	0,20	0,50	0,92	2,29	2,33	1,77	
5	P4N1K1	0,16	0,30	0,28	0,74	0,13	0,21	0,06	0,40	1,24	2,38	2,41	1,85	
6	P120(e)N1K1	0,16	0,30	0,28	0,74	0,09	0,16	0,14	0,40	1,15	2,29	2,31	1,85	
Дерново-подзолистая супесчаная почва														
1	Контроль	0,11	0,07	0,17	0,35	0,11	0,03	0,08	0,22	0,15	0,72	0,73	1,53	
2	Уровень загрязнения	средний	0,11	0,10	0,15	0,36	0,11	0,06	0,08	0,26	0,16	0,77	0,76	1,39
3		высокий	0,13	0,09	0,18	0,40	0,10	0,04	0,10	0,24	0,28	0,92	0,93	1,67
4		чрезвычайно опасный	0,14	0,07	0,21	0,42	0,14	0,03	0,09	0,26	0,39	1,07	0,09	1,61

нарушены микробные системы, потеряна исходная функциональная целостность, т.е. она токсична. Однако ранжирование систем удобрений по степени благополучия – критерий плодородия выдвигает на первое место систему удобрений, где вносится P240 (1 раз в 4 года), что способствует достижению максимального биоразнообразия (рис. 3).

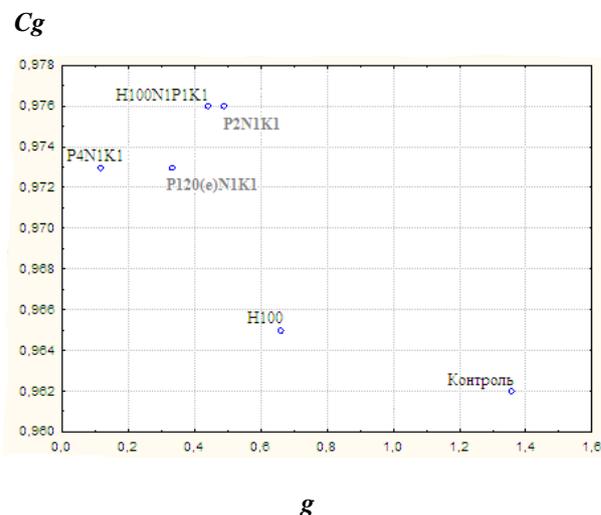


Рис. 2. Разделение образцов в пространстве коэффициентов ранговых распределений по моделям Ципфа  $C_g$  и Горленко  $g$

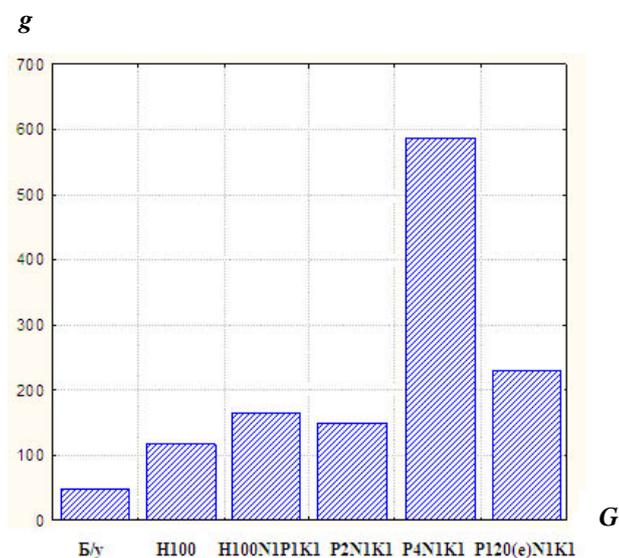


Рис. 3 Интегральный индекс благополучия  $G$  – критерий плодородия

В условиях техногенного загрязнения среды первостепенное значение приобретает эффективность адаптации растений к различным условиям ОПС. Растения имеют три биобарьера, препятствующих поступлению токсикантов из почвы. Это корень – стебель – репродуктивные органы. В наших исследованиях на незагрязненной почве (исходная) способность к аккумуляции ТМ органами ячменя расположились в возрастающий ряд: зерно < солома < корни. Около 3% Pb, Cd и Cu (0,4 мг/кг, 0,05, 1,1 мг/кг соответственно) накапливалось в зерне, в соломе примерно 20% Pb и Cu (3 мг/кг, 6 мг/кг), а Cd – 7,8% (0,13 мг/кг), в корнях аккумулировалась основная масса этих элементов от 61 до 89% (Pb – 9,5 мг/кг, Cd – 1,48, Zn – 68,8, Cu – 23,3 мг/кг). Загрязненная почва (Б/у) резко трансформировала загрязнители в ячмене. Зерно стало экологически опасное. Содержание Pb достигло 1,1 мг/кг (ПДК 0,5), Cd – 0,38 (ПДК 0,1), Zn – 83,7 (ПДК 50). Экологически опасным было зерно и в лизиметрическом опыте, где отмечено значительное накопление в зерне Cd 31% (0,27 мг/кг), Pb – 7,3% (0,68 мг/кг), Cu – 11% (6,0 мг/кг), Zn – 25% (76 мг/кг). Большая часть ТМ, аккумулированных ячменем, задерживалась в корнях: Pb – 55% (7,2 мг/кг), Cd – 53% (0,47 мг/кг), Zn – 55% (165 мг/кг), Cu – 73% (40,4 мг/кг). Использование систем удобрений оказывали в основном положительное влияние, но не всегда продукция оставалась экологически безопасной. В лизиметрическом опыте зерно ячменя получено в основном экологически безопасное, за исключением варианта Н80, где содержание Cd было 0,18

мг/кг (ПДК 0,1 мг/кг). В мелкоделяночном опыте экотоксиканты Pb и Cd под влиянием применения всех систем удобрений накапливались в зерне значительно меньше, чем на Б/у, но качество продукции оставалась небезопасной для использования как продовольственное сырье.

На оподзоленном черноземе органическая и органо-минеральная системы удобрений (вар. 2, 3) способствовали перераспределению Cd в зерне овса, уменьшая его накопление на 8–10%. Основное количество Cd концентрировалась в корнях. Минеральные системы удобрений (P4N1K1; P120(e)N1K1) снижали транслокацию данного токсиканта в зерно, где его содержание было ниже ПДК (0,06 и 0,05 соответственно). Содержание Pb в зерне практически не изменялось при использовании удобрений, но большая часть этого токсиканта оставалась в корнях и соломе. Итак, основную продукцию овса на загрязненном черноземе использовать на продовольственные цели небезопасно.

Общую загрязненность почвы поллютантами характеризует валовое содержание ТМ. Отрицательное влияние высоких концентраций ТМ на почву зависит от их подвижности. Пока элементы прочно связаны с составными частями почвы, они труднодоступны растениям, слабо выражена их миграция в биосфере.

В лизиметрических исследованиях на почвах повышенно загрязненных (Б/у) проявляется выраженная зависимость содержания ТМ от типа почвы. В дерново-подзолистой содержание ацетатно-аммонийных форм Cd и Pb выделено меньше, Zn и Cu – больше на вариантах Б/у по сравнению с черноземом (табл. 19, 20).

Таблица 19. Среднее содержание подвижных форм тяжелых металлов в дерново-подзолистой почве (экстрагент ацетатно-аммонийный буфер pH 4,8)

Варианты	Лизиметрический опыт				Мелкоделяночный опыт			
	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu
Исходная почва	–	–	–	–	1,2	0,05	4,4	0,21
					30	42	2,5	4
Б/у	19,2	0,25	53,6	33,2	9,8	0,25	46,2	21,4
	40	42	49	37	25	42	42	24
Н40 N1P1K1	23,4	0,25	68,1	39,1	14,6	0,13	64,6	19,0
	59	42	62	43	37	22	59	21
Н40P120 N1K1	20,9	0,26	65,4	37,6	29,7	0,26	86,9	22,1
	52	43	59	34	74	43	79	25
Н40P240 N1K1	21,0	0,26	73,7	42,1	28,9	0,42	86,2	20,6
	53	43	67	47	71	70	78	23
Н80	20,7	0,23	72,9	37,6	19,5	0,25	71,1	28,1
	52	38	66	34	49	42	65	31
P480 N1K1	19,0	0,24	67,4	38,0	6,8	0,30	64,9	23,2
	48	40	61	42	17	50	59	26
НСР <sub>0,95</sub>	3,4	0,06	10,0	6,9	5,0	0,04	7,6	4,2

Примечание: числитель – содержание в мг/кг, знаменатель – степень подвижности, %.

Таблица 20. Среднее содержание подвижных форм Pb, Cd, Zn, Cu в загрязненном черноземе (экстрагент ААБ рН 4,8)

Варианты	Pb		Cd		Zn		Cu	
	мг/кг	% от вал.						
Б/у	24,1	54	0,44	73	37,1	34	14,3	17
H100	15,5	39	0,35	58	26,5	24	10,1	11
H100 N1P1K1	10,2	26	0,35	58	29,3	27	8,5	9
P2 N1K1	10,3	26	0,33	55	40,1	36	11,2	12
P4 N1K1	8,6	22	0,34	57	59,3	54	9,6	11
P120(e) N1K1	13,7	34	0,23	38	48,3	44	7,8	7
HCP <sub>0,95</sub>	3,8	–	0,1	–	12,1	–	4,2	–

Рассматривая интенсивность образования подвижных форм элементов, следует отметить, что Cd наиболее интенсивно переходил в подвижную форму на черноземе, но P120 на фоне N1K1 резко снижал этот процесс. В дерново-подзолистой почве вариант P480N1K1 имел ту же тенденцию. Аналогично с этими вариантами, навоз 80 т/га несколько уменьшал подвижность кадмия. Pb, Zn, Cu имели большую активность от удобрений: подвижность Pb составляла 48–59%, Zn – 59–67%, Cu – 34–47%. На черноземе эти показатели меньше: Pb – 22–39%, Zn – 24–54%, Cu – 7–12%.

Миграционная способность ТМ зависит от совокупности свойств почвы, химических загрязнителей, ландшафтной обстановки. Инфильтрация их через почвенный профиль сопровождается выведением органического вещества и связанных с ним металлов.

Результаты (табл. 21) гидрохимических исследований указывают на то, что изучаемые системы удобрений на дерново-подзолистых почвах уменьшают в основном вынос Pb, Cd, Zn, Cu за пределы почвенного профиля и увеличивают Cd. В черноземе повысили выход Pb и уменьшили миграцию Cd во внутрипочвенные воды.

Таблица 21. Влияние приемов детоксикации загрязненных почв на миграцию ТМ во внутрипочвенные воды (в среднем на 1 год исследований, мг/л·10<sup>-3</sup>)

№№ вариантов	Дерново-подзолистая супесчаная почва								Чернозем тяжелосуглинистый			
	До загрязнения				После загрязнения							
	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu	Pb	Cd	Zn	Cu
1	5,8	0,7	0,9	1,7	7,7	1,2	164	3,9	0,64	0,15	0,89	0,24
2	8,0	0,9	4,0	1,5	6,1	1,4	58,8	3,9	0,85	0,07	1,44	0,20
3	3,9	0,9	1,5	1,5	7,9	1,5	79,8	3,0	1,21	0,10	1,23	0,24
4	6,8	0,8	22	1,4	7,0	1,8	106	4,5	0,84	0,12	0,86	0,12
5	5,1	0,8	5,7	2,1	7,5	1,2	76,9	4,1	0,65	0,12	0,26	0,14
6	3,3	0,7	1,7	1	7,9	1,5	77,7	3,4	1,01	0,18	0,78	0,86

По результатам корреляционного анализа прослеживается некоторое влияние качества гумуса (групп, фракций) на содержание ТМ во внутрипочвенных водах (табл. 22). Однако однозначно увязать рост миграции ТМ в почвах с фактором химического загрязнения почв нельзя, поскольку вероятность существования корреляции между группами, фракциями гумуса и по-

ступивших в просочившиеся воды ТМ составила от 50% до 95%.

Таблица 22. Коэффициенты корреляции ( $r$ ) образования групп и фракций гумуса и содержания тяжелых металлов во внутрипочвенных водах

Элементы	Гуминовые кислоты, фракции				Фульвокислоты, фракции			
	1	2	3	сумма	1+1а	2	3	сумма
Дерново-подзолистая почва								
Pb	0,14	-0,32	0,59	0,40	-0,05	0,45	-0,33	0,57
Cd	0,39	-0,07	0,29	0,42	-0,49	0,10	0,77	0,54
Zn	-0,23	0,43	-0,19	-0,32	-0,51	0,51	-0,14	-0,13
Cu	0,17	0,88	-0,62	0,08	-0,08	-0,52	0,66	-0,05
Чернозем оподзоленный								
Pb	-0,31	0,23	-0,08	0,18	-0,23	-0,54	0,69	0,15
Cd	0,81	-0,78	-0,57	-0,74	-0,50	-0,11	-0,38	-0,75
Zn	-0,79	0,65	0,46	0,58	0,14	-0,37	0,83	0,61
Cu	0,47	-0,35	-0,39	-0,30	-0,06	-0,64	-0,08	-0,34

Миграция Pb в почвенно-грунтовые воды в основном обусловлена 3-ей фракцией ГК в дерново-подзолистой почве ( $r = 0,59$ ) и ФК-3 – в черноземе ( $r = 0,69$ ). В первой почве сумма фульвокислот имеет коэффициент корреляции  $r = 0,57$ , в тоже время в черноземе этот показатель  $r = 0,15$ .

Концентрация Cd во внутрипочвенных водах зависит от типа почв. Так, корреляция между поступлением металла в лизиметрические воды с ФК-3 имеет высокую степень зависимости ( $r = 0,77$ ) в дерново-подзолистой почве. Миграционную способность этой фракции, связанной с полуторными окислами, В.В. Пономарева и Т.А. Плотникова [1980] объясняют соотношением между реагентами и степенью концентрации растворов. Чем больше на единицу полуторных окислов приходится в растворе ФК и чем больше разбавлен раствор, тем более миграционно способно соединение и наоборот. В черноземе эта фракция (группа ФК), ГК-2, ГК-3 и сумма фракций ГК имели отрицательные корреляции ( $r = -0,75, -0,78, -0,57, -0,74$ ). Высокая миграционная способность Cd обнаружена в черноземе с фракцией ГК-1 ( $r = 0,81$ ). Вероятно, поливалентные металлы образуют легко растворимые соединения.

Cu мигрирует преимущественно в виде комплексных соединений во фракциях ГК-2 и ФК-3. Известно, что гуматы Ca (ГК-2) устойчивы к растворению. Но в недонасыщенном состоянии они растворимы в воде и, следовательно, способны к миграции в почвенном профиле. Вероятно, поэтому существует положительная корреляция концентрации Cu в инфильтрационных водах и фракции ГК-2 в дерново-подзолистой почве ( $r = 0,88$ ). Такого не обнаружено в черноземе оподзоленном. В нем наблюдалась в основном отрицательная корреляция разной степени. Миграционная способность Zn в большей степени обнаружена в черноземе в виде фракций ФК-3 ( $r = 0,83$ ) и ГК-2 ( $r = 0,65$ ).

Применение вариационного критерия для выявления вклада химического загрязнения почвенно-грунтовых вод позволяет заключить, что гумус чернозема более прочно удерживает от вымывания Pb, Cd, Cu по сравнению

с гумусом дерново-подзолистой почвы. Цинк удерживается сильнее в профиле дерново-подзолистой почвы.

### **Экономическая эффективность агрохимических приемов детоксикации почв, загрязненных ТМ**

Оценка экономической эффективности производится по приросту чистого дохода, представляющего разность сумм чистого дохода, который получается на вариантах с применением систем удобрений и без их использования в семипольном кормовом севообороте. В составе притоков от операционной деятельности учитывались валовые стоимости сельскохозяйственной продукции. В составе денежных оттоков, в процессе выращивания культур севооборота, учитывались текущие издержки по видам деятельности.

В среднем за семь лет исследований чистый доход на варианте без удобрений с учетом коэффициента дисконтирования возможного риска, составил 1466 руб./га, а сальдо денежного потока 1855 руб. Максимальный чистый доход соответственно 14286 руб./га, 18100 руб./га получен от применения органо-минеральной системы, где использовались в севообороте навоз 40 т/га, P240 периодически (1 раз в 4 года) и ежегодно НК-удобрения.

### **ВЫВОДЫ**

1. Основными источниками антропогенного загрязнения агроценозов юга Центрального Нечерноземья, экологическая ситуация в котором свойственна многим развитым промышленным регионам России, являются предприятия промышленности, сельского и коммунального хозяйств, а также транспорт. По интенсивности загрязняющего воздействия они распределяются в следующей убывающей последовательности: предприятия нефтепереработки, теплоэнергетики, строительных материалов, транспорта, машиностроения, коммунального и сельского хозяйств. К крупнейшим загрязнителям относятся промышленные комплексы г. Рязани и г. Пронска, среднегодовые вредные выбросы которых в атмосферу достигают 53,3–36,3 тыс. т/год. В категорию высоких загрязнителей входят предприятия Касимовского и Михайловского районов, выбрасывающие 6,4–11,0 тыс. т загрязняющих веществ.

2. Экологические функции почвенного покрова на юге Центрального Нечерноземья снижены за счет интенсивного загрязнения ТМ. К основным средствам, обеспечивающим их транспортировку в агрокомплексы, относятся атмосферные осадки. Снижению интенсивности загрязнения атмосферных выпадений Zn, Cd в 1,6 раза, происшедших в последние годы (2001–2009 гг.), сопутствовало увеличение Pb в 2,5 раза, что обусловлено экспансией автотранспортного загрязнения. Элементный состав атмосферных осадков 2008–2009 гг. представлял убывающий ряд: Ca > K > Na > S > Mg > Si > Fe > Al > Mn > Sr > Zn > Cr > Pb > Ba > V > Ti > B > Cu > Rb. Их концентрации в растаявшем снеге варьирует в пределах от 3834 до 1 мг/л·10<sup>-2</sup>, а концентрации Cd, Mo, Co, Ni, Sn, Li, La, Ge, Nd, Sb, Cs не выходит за пределы 0,87–0,11

мг/л · 10<sup>-2</sup>.

3. В пределах экополигона «Мещера» разные территории отличаются по загрязненности ТМ. Почвы дачных участков отличаются относительно высокой загрязненностью: концентрация Cd превышает региональный геохимический фон в 6,7 раза, Zn – 3,9 и Pb – 1,7 раза. В отличие от этого почвы пашен, пастбищ, леса в составе землепользования ОПХ «Полково» содержат Zn и Cu значительно меньше местного геохимического фона. Pb и Cd накапливаются в почве больше местного, но меньше регионального геохимического фона. Концентрация Zn и Pb во внутрипочвенных водах имеет тенденцию снижения, а Cd повышения. Воды малой речки, на которой замкнут экополигон, загрязняются в зависимости от местных условий водотока. Загрязненные стоки с почв дачных участков формируют в донных отложениях речки Pb и Cd в 4 раза больше чем в истоке и устье.

4. Накопление токсичных элементов в пахотном слое зависит от особенностей почвообразования. Выщелоченные и оподзоленные черноземы изучаемого региона по сравнению с общемировыми аккумулируют в корнеобитаемых слоях больше Pb, Cu, B, меньше – Zn, Cd, Mn, Mo; серые лесные – больше Pb, Zn, Cu, Mn, B, Co, меньше – Cd, V, Ni, Mo; дерново-подзолистые тяжелого гранулометрического состава – больше Zn, Cu, Pb, Co, B, Mn, V, Ni, Sn, меньше – Cd, Cr, Mo. От разнообразия почвообразовательных процессов зависит геохимическая обстановка и формы возникающих химических загрязнений. Серые лесные и черноземные почвы характеризуются в основном низкой загрязненностью, но в них отмечены локальные участки аномально повышенного содержания Pb и Cd, что связано с близостью промышленных комплексов.

5. Формирование внутрипрофильной трансформации микроэлементного состава почв подчиняется определенным закономерностям элювиально-аллювиальной дифференциации. В зависимости от проявления двух максимумов концентрирования ТМ. Биохимическая аккумуляция Cu, Mn, Zn, Ni, Pb, Cd, и Co в гумусовых горизонтах – первый максимум. Второй максимум отмечен в пойменных почвах глубже 80 см для Cu, Pb, Cr, B, Sn, Mo в связи с изменениями аллювиальных наносов и в элювиальных почвах Zn, Cu, Pb, Co, Ni, что связано с утяжелением гранулометрического состава, аккумуляцией металлов иллювиальным горизонтом, как на геохимическом барьере.

6. На дерново-подзолистой супесчаной почве монокультура и сорняки сдерживают токсикоз почвенного раствора на начальных стадиях загрязнения. Биологический вынос из почвы ТМ и особенно Cd, зависит от величины урожая. Поэтому от развития надземных органов культуры и/или сорняков, выполняющих функцию биопротекторов токсикантов, зависит эффективность детоксикации и, в конечном счете, баланс загрязнения почв ТМ.

7. Ускорению самоочищения оптимально увлажненных серых лесных суглинистых почв, остаточная загрязненность которых нефтью или нефтепродуктами не превышает 2 г/кг, способствует внесение в них измельченных растительных остатков или навоза. В начале биологического этапа, в течение

осенней обработки почвы, деструкция нефти под влиянием навоза КРЗ происходит на 94%, дизельного топлива – на 98%, а от растительных остатков – на 96%, 98% соответственно

8. Оптимизация условий питания сельскохозяйственных культур в севооборотах посредством применения рациональной системы удобрений усиливает экологические функции почв. В условиях повышенно загрязненных почв ТМ, оптимально сбалансированной системой удобрений является органо-минеральная. Внесение на дерново-подзолистой почве в севообороте периодически 40 т/га навоза, Р240 и ежегодно азотных и калийный туков, а для черноземов – органики один раз в 6 лет и ежегодно – полное минеральное удобрение оптимальными дозами, способствует увеличению урожайности сельскохозяйственных культур. Эффективность органо-минеральной системы удобрений в севообороте на дерново-подзолистой почве находится в пределах 104–249%, на черноземе – 109%. На дерново-подзолистой почве, загрязненной средним или высоким уровнями ТМ, использование органо-минеральной системы удобрений (навоз 40 т/га + Р240 + N1K1) обуславливает детоксикационные свойства, способствующие снижению фитотоксичности сельскохозяйственных культур в севообороте. Под влиянием этого в дерново-подзолистой почве органо-минеральная, органическая и минеральная системы увеличивают фракции с полуторными окислами гумусовых кислот, а в черноземах происходит снижение содержания подвижных гумусовых кислот (ГК-1) и увеличение гуматов кальция (ГК-2).

9. На жизнедеятельность и активность почвенных микробных сообществ в оподзоленных черноземах влияет применение органо-минеральной системы удобрений. Без применения агрохимических средств реабилитации в техногенно загрязненных черноземах происходит полная деградация системы микробных сообществ. Судя по интегральному индексу благополучия, являющегося микробиологическим критерием плодородия, наиболее благоприятные условия, с точки зрения экологических условий обитания микроорганизмов, формируются при ежегодном внесении оптимальных доз азота и калия на фоне периодического использования Р240.

10. Поглощение ТМ растениями зависит от экологической ситуации. В условиях загрязненных кислых (рН 4,4–4,6) дерново-подзолистых супесчаных почв суммарное поступление ТМ в ячмень значительно больше, чем на почвах с близкой к нейтральной реакции почвенного раствора (рН > 6), особенно много (> 6 раз) их поступает в корни. Применение различных систем удобрений изменяет поступление и усвоение растительным организмом ТМ на разных стадиях онтогенеза, усиливает барьерные свойства всех органов растений. На почвах с рН выше 6,5, загрязненность которых ТМ находится на повышенном уровне, основная продукция зерновых культур (ячмень, овес) обычно является экологически опасной. Внесение биологических и агрохимических мелиорантов способствует некоторому снижению поглощения экотоксикантов и микроэлементов зерновой продукцией до уровней, позволяющих ее использование на кормовые цели.

11. Максимальный дисконтированный прирост чистого дохода (14286 руб./га) и сальдо денежного (18100 руб./га) достигается от применения органо-минеральной системы удобрений в севообороте при использовании периодически навоза 40 т/га и внесении фосфорных удобрений 240 кг/га д.в. (1 раз в 4 года) на фоне N1K1.

## **ПРЕДЛОЖЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВУ**

Для экологической оценки загрязненности почв южной части Нечерноземной зоны РФ рекомендуется использовать разработанную на основе геохимического фона региональную градацию по валовому содержанию элементов-загрязнителей (Pb, Cd, Zn, Cu, Cr, Co, B, Mn, V, Ni, Sn, Mo).

При осуществлении контроля за состоянием агроландшафта региональный геохимический фон и градация почв по содержанию элементов-загрязнителей достаточно надежно может диагностировать степень загрязнения почв, как отдельными ТМ, так и в совокупности, по их суммарному индексу загрязнения.

Для обеспечения высокой продуктивности пашни и получения экологически безопасной растениеводческой продукции на загрязненных ТМ почвах рекомендуется использовать комплекс агрохимических средств в севообороте, включающий внесение навоза, нормой способствующей бездефицитному балансу гумуса и фосфорных удобрений (P240 1 раз в 4 года) на фоне ежегодного использования оптимальных доз азотных и калийных туков.

Почвы, имеющие кислую реакцию почвенного раствора, обладающие природной фитотоксичностью, необходимо известковать двойной дозой по результатам гидролитической кислотности.

Разработанные на основе многолетних научных исследований, органо-минеральная, органическая, минеральная системы применения удобрения рекомендуется использовать в севообороте. Оптимальным способом детоксикации загрязненных почв ТМ, при котором достигается получение максимальной продуктивности сельскохозяйственных культур севооборота, является использование органо-минеральной системы удобрений. Данная система, обеспечивая получение экологически безопасной сельскохозяйственной продукции, способствует снижению транслокации ТМ в грунтовые воды.

Разработанная органо-минеральная система применения удобрений и ее технология применения представлена как способ агрохимической мелиорации техногенно загрязненных почв в рекомендациях по применению агрохимической мелиорации почв, подверженных техногенному загрязнению в условиях южной части Нечерноземной зоны РФ.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

### Монографии

1. Мажайский Ю.А., Резникова А.В., Евтюхин В.Ф. Экология агроландшафта Рязанской области. М.: Изд-во Московского университета, 2001. – 96 с.
2. Бочкарев Я.В., Томин Ю.А., Гулюк Г.Г., Евтюхин В.Ф., Пожогин Ю.П. и др. Экологические аспекты мелиорации земель юга Нечерноземья / Под общ. редакцией Ю.А. Мажайского, В.И. Желязко. М.: Изд-во Московского университета, 2003. – 320 с.
3. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Ильинский А.В., Дронник Е.А., Гусева Т.М. и др. Нейтрализация загрязненных почв / Под общ. редакцией Ю.А. Мажайского. Рязань: Мещерский ф-л ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. – 528 с.

### Статьи в журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ

4. Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н., Игнатенок В.А., Пчелинцева С.А., Колосов В.П. Агроэкологический мониторинг земель Рязанской области // Агрехимический вестник. 1998. – № 3. – С. 25–27.
5. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Резникова А.В. Региональный эколого-мелиоративный мониторинг на агроландшафте // Проблемы региональной экологии. М., 2000. – С. 62–67.
6. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Ильинский А.В., Гусева Т.М. Мониторинг тяжелых металлов в поверхностных и грунтовых водах ландшафта Окского бассейна // Интеграл: научно-практический межотраслевой журнал. 2008. – № 6(44). – С. 19.
7. Евтюхин В.Ф., Никушина Т.К. Влияние многолетнего применения минеральных удобрений на некоторые агрохимические и экологические показатели серой лесной тяжелосуглинистой почвы // Проблемы агрохимии и экологии. Научно-теоретический журнал. 2008. – № 2. – С. 13–18.
8. Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Ильинский А.В. Гидрохимические особенности экологического состояния агроландшафтов Окского бассейна, находящихся под влиянием атмосферных нагрузок // Плодородие. 2010. – № 5. – С.43–46.
9. Давыдова И.Ю., Мажайский Ю.А., Давыдов Е.А., Евтюхин В.Ф. Методика учета качества почв в земельной ценовой политике региона // Агрехимический вестник. 2010. – № 6. – С. 2–4.
10. Еськов Е.К., Евтюхин В.Ф. Балансовый анализ тяжелых металлов искусственно загрязненных почв в условиях естественных агроценозов // Аграрная Россия. 2010. – № 6. – С.16–20.
11. Мажайский Ю.А., Давыдова И.Ю., Давыдов Е.А., Евтюхин В.Ф. Методика оценки земель с учетом пожароопасности почв // Агрехимический вестник. 2011. – № 1. – С. 10–12.

### Материалы конференций

12. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Шленская Ф.С., Хохлов Г.А., Бочкарев Я.В. и др. Методические основы организации и проведения агроэкологического мониторинга земель // Материалы межрегиональной научно-практической конференции: «Актуальные вопросы здоровья населения на рубеже 21 века». Изд-во Медуниверситет. Рязань, 1996. – С. 12–24.

13. Мажайский Ю.А., Бочкарев Я.В., Горбич В.Ф., Евтюхин В.Ф., Чукина Г.В. Оценка агроэкологического состояния сельскохозяйственных земель Рязанской области // Материалы межрегиональной научно-практической конференции: «Человек и окружающая среда». Изд-во Медуниверситет. Рязань, 1997.

14. Мажайский Ю.А., Ляпкало А.А., Тимофеев Н.Н., Евтюхин В.Ф., Ильинский А.В. и др. Экологические аспекты воздействия нефтеперерабатывающих станций на окружающую среду // Материалы 2-ой межрегиональной научно-практической конференции: «Человек и окружающая среда». Изд-во Медуниверситет. Рязань, 1998. – С. 18–186.

15. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н., Ляпкало А.А., Горбич В.Ф. и др. Оценка техногенных выбросов Пронской ГРЭС на загрязнение прилегающих земель // Материалы 2-ой межрегиональной научно-практической конференции: «Человек и окружающая среда». Изд-во Медуниверситет. Рязань, 1998. – С. 186–189.

16. Мажайский Ю.А., Ляпкало А.А., Евтюхин В.Ф., Никитина И.В., Дьячек Т.Е. и др. Завод «Рязцветмет» – как потенциальный источник загрязнения окружающей природной среды // Материалы 2-ой межрегиональной научно-практической конференции: «Человек и окружающая среда». Изд-во Медуниверситет. Рязань, 1998. – С. 190–192.

17. Лисицин А.Ф., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н., Игнатенок В.А., Гусева Т.М. Экологический мониторинг сельскохозяйственных земель // Материалы областной научно-технической конференции: «Инженерное и информационное обеспечение экологической безопасности в Тамбовской области». Изд-во ТГТУ. Тамбов, 1998. – С. 50–51.

18. Лисицин А.Ф., Евтюхин В.Ф., Черных В.Ф., Чижатников Ю.А. Влияние предприятий нефтяной промышленности на состояние окружающей природной среды // Материалы областной научно-технической конференции: «Инженерное и информационное обеспечение экологической безопасности в Тамбовской области». Изд-во ТГТУ. Тамбов, 1998. – С. 48–49.

19. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н., Гусева Т.М., Игнатенок В.А. Комплекс экологических исследований на экологию в бассейне реки Оки // Материалы научно-технической конференции: «Биохимические, медицинские и экологические состояния и комплексы». Изд-во Медуниверситет. Рязань, 1998. – 94 с.

20. Захарова О.А., Ляпкало А.А., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Тобратов С.А. Оценка влияния выбросов Рязанской ГРЭС на ландшафты Рязанской области // Материалы 3-ей республиканской научной конференции:

«Человек и окружающая среда». Изд-во Медуниверситет. Рязань, 1999. – С. 62–63.

21. Мажайский Ю.А., Давыдова И.Ю., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н., Игнатенок В.А. Экологическая оценка нефтезагрязненных земель природно-техногенных систем в пригородах и сопредельных территориях // Материалы межрегиональной научно-технической конференции: «Инженерная география, экология урбанизированных территорий». Изд-во Ярославский педуниверситет. Ярославль, 1999. – С. 195–198.

22. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Давыдова И.Ю., Евсенкин К.Н. Возможность реабилитации земель загрязненных ТМ, с помощью оросительной мелиорации // Материалы 4-ой Всероссийской научно-технической конференции: «Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности». Изд-во Балтийский государственный университет. Санкт-Петербург, 1999. – С. 116–119.

23. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Давыдова И.Ю., Евсенкин К.Н. Агроэкологическая оценка нефтезагрязненных земель территории ЛПДС // Материалы 4-ой Всероссийской научно-технической конференции: «Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности». Изд-во Балтийский государственный университет. Санкт-Петербург, 1999. – С. 396–398.

24. Гусева Т.М., Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Евсенкин К.Н., Игнатенок В.А. Оценка загрязненности тяжелыми металлами малой реки в водосборе р. Оки // Материалы межрегиональной научно-технической конференции: «Экологическая безопасность и устойчивое развитие регионов». Изд-во РГСХА. Рязань, 1999. – С. 26–27.

25. Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Ефимов В.Н., Резникова А.В. Оценки территориально экологического равновесия и агрохимические основы реабилитации загрязненных почв агроландшафта Рязанской области // Материалы межрегиональной научно-технической конференции: «Экологическая безопасность и устойчивое развитие регионов». Изд-во РГСХА. Рязань, 1999. – С. 45–46.

26. Гальченко С.В., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Кононова Г.А. О возможности использования почвы Центрального городского парка г. Рязани в качестве урбанизированного экофона при проведении экологических исследований // Проблемы инженерного обеспечения и экологии городов: Сб. материалов международной научно-технической конференции. Изд-во педуниверситет. Пенза, 1999. – С. 55–57.

27. Гусева Т.М., Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Евсенкин К.Н., Игнатенок В.А. Исследование донных отложений как метод оценки антропогенной нагрузки на водные экосистемы // Вопросы региональной экологии: Материалы 4-ой региональной научно-технической конференции. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2000. С. 83–84.

28. Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Евсенкин К.Н., Игнатенок В.А. Влияние предприятий нефтяной промышленности на состояние окружающей среды и организация на них производственно экологического мониторинга

(ПЭМ) // Материалы Международной научно-технической конференции. Часть 1. Изд-во Госуниверситет. Калининград, 2000. – С. 164–165.

29. Давыдова И.Ю., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н., Игнатенок В.А. Диагностические критерии агроэкологического состояния нефтезагрязненных почв // Материалы Международной научно-технической конференции. Часть 1. Изд-во Госуниверситет. Калининград, 2000. – С. 191–192.

30. Мажайский Ю.А., Гусева Т.М., Евтюхин В.Ф., Захарова О.А., Евсенкин К.Н., Игнатенок В.А. Применение природной модели как метод исследования антропогенно преобразованных экосистем в бассейне р. Оки // Материалы Международной научно-технической конференции. Часть 1. Изд-во Госуниверситет. Калининград, 2000. – С. 204–206.

31. Гусева Т.М., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н., Игнатенок В.А., Горбич В.Ф. Экологизация водопользования в мелиорации пойменных земель // Человек и окружающая среда: Материалы 4-ой республиканской научной конференции. Рязань: Изд-во Медуниверситет, 2000. – С. 75–86.

32. Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Ефимов В.Н., Резникова А.В. Формирование стратегии землепользования на основе планирования эколого-мелиоративного состояния агроландшафта (на примере Рязанской области) // Современные проблемы гуманитарных и естественных наук: Материалы межвузовской научно-практической конференции. Рязань: Изд-во Горизонт-РИУП, 2000.

33. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Назарова Е.С. Разработка порядка ведения государственного экологического контроля (ГЭК) в сфере нефтяной промышленности // Новые технологии для очистки нефтезагрязненных вод, почв, переработки и утилизации нефтешламов: Материалы Российской научно-практической конференции. М.: Изд-во Ноосфера, 2001. – С. 250–251.

34. Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Назарова Е.С., Кирюшин В.А. Организация и ведение производственного экологического мониторинга (ПЭМ) в зоне влияния объектов нефтяной промышленности // Новые технологии для очистки нефтезагрязненных вод, почв, переработки и утилизации нефтешламов: Материалы Российской научно-практической конференции. М.: Изд-во Ноосфера, 2001. – С. 251–252.

35. Гусева Т.М., Бочкарев Я.В., Евтюхин В.Ф., Пожогин Ю.П., Ефимов В.И., Мажайский Ю.А. Регулирование водного режима ландшафтов малых рек в условиях возрастающих антропогенных нагрузок // Проблемы мелиорации водохозяйственного строительства и обустройства сельских территорий на современном этапе: Материалы международной научно-практической конференции. Горки: Изд-во БелГСХА, 2001. – С. 194–196.

36. Гусева Т.М., Желязко В.И., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Матюхин Р.И. Оценка загрязнения тяжелыми металлами грунтовых вод куль-

турного ландшафта // Экологические проблемы мелиорации: Материалы международной конференции. М.: Изд-во ВНИИГиМ, 2002. – С. 209–211.

37. Мажайский Ю.А., Тобратов С.А., Пожогин Ю.П., Евтюхин В.Ф. Оценка вклада выбросов теплоэлектростанции в загрязнение окружающей среды тяжелыми металлами // Экология в энергетике-2004. Первая специализированная тематическая выставка. М.: ВВЦ, 2004. – С. 75–78.

38. Евтюхин В.Ф., Ильинский А.В. Агрехимическая характеристика черноземов Рязанской области в условиях техногенеза // Почвы – национальное достояние России: Материалы IV съезда Докучаевского общества почвоведов. Кн. 2. Новосибирск: Наука-Центр, 2004. – Кн. 2. – С. 416.

39. Мажайский Ю.А., Персикова Т.Ф., Евтюхин В.Ф. Биоактивность почвы в различных севооборотах // Ресурсосберегающие и энеоргоэффективные технологии и техника в орошаемом земледелии: Сборник научных трудов международной научно-практической конференции. Часть II. Коломна: ООО «Инлайт», 2004. – С. 85–87.

40. Мажайский Ю.А., Персикова Т.Ф., Евтюхин В.Ф. Биоактивность почвы в различных севооборотах // Технологии и технические средства орошения сельскохозяйственных культур: Сборник научных докладов международной научно-практической конференции «Ресурсосберегающие и энергоэффективные технологии и техника в орошаемом земледелии». Часть 2. – Коломна: ФГНУ ВНИИ «Радуга», 2004. – С. 85–87.

41. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Лихачева О.Е. Состояние земель в зоне влияния несанкционированных бытовых свалок // Материалы международной конференции «Отходы производства и потребления, медико-экологические и экономические аспекты / ред. колл.: Бобылева О.А. и др. К.: О-во «Знание» Украины, 2005. – С. 20–23.

42. Гольдбурд Л.Е., Евтюхин В.Ф., Родин И.К., Лобова К.Ю., Дронник Е.А., Лихачева О.Е. Оценка ущерба сельскохозяйственным ресурсам при строительстве магистрального нефтепровода «Кстово-Ярославль-Кириши-Приморск» // Оценка и управление природными ресурсами: материалы Всероссийской конференции «Риск-2006». М.: Изд-во РУДН, 2006. – С. 118–120.

43. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Ильинский А.В. Экологическая оценка содержания поллютантов в поверхностных и грунтовых водах мелиорированного ландшафта малой реки Окского бассейна // Сборник докладов III ежегодной конференции «Топливо и экология» – 2010» (20–21 мая 2010 г.). Москва, ГК «Измайлово – Вега». – С. 45–47.

#### **Другие публикации**

44. Евтюхин В.Ф., Ильинский А.В., Производственно-экологический мониторинг при строительстве объектов магистральных нефтепродуктопроводов // Экологические нормы. Правила. Информация. – 2008, № 10. – С.35–40.

45. Гусева Т.М., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Игнатенок В.А. Технология очистки дренажно-коллекторных вод в мелиоративных каналах // Вопросы мелиорации. М., 2000. № 7 – С. 25–30.

46. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Гусева Т.М., Евсенкин К.Н., Игнатенок В.А. Основные результаты исследований донных отложений р. Оки, проведенных в рамках международного проекта «Ока-Эльба» // Геологический вестник центральных районов России». М., 2000. № 3. Изд-во Инфоком-гео. – С. 58–60.

47. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Кураева Г.И. Методика по разработке удельных нормативов водопотребления и водоотведения для производственных объектов ОАО «АК «Транснефть» // Экологический вестник России.– 2002. – № 7, 8, 10 – С. 34–43. 48–55. 35–44 и 2003. – № 2. С. – 41–51.

48. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Давыдова И.Ю. Удельные нормативы образования отходов производства и потребления при строительстве и эксплуатации производственных объектов ОАО «АК «Транснефть» РД 153-39.4-115-01 // Экологический вестник России. М. 2003. – № 3. – С. 44–52. – № 4. – С. 50–53. – № 5. – С. 36–44. – № 6. – С. 49–56. – № 7. – С. 48–52. – № 8. – С. 50–56. – № 9. – С. 51–53. – № 11. – С. 43–47. – № 12. – С. 45–47.

49. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Давыдова И.Ю. Удельные нормативы образования отходов производства и потребления при строительстве и эксплуатации производственных объектов ОАО «АК «Транснефть» РД 153-39.4-115-01 // Экологический вестник России. М. 2004. – № 10. – С. 51–60. – № 11. – С. 53–58.

50. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф. Захарова О.А., Тобратов С.А. Техногенное загрязнение окружающей среды в зоне воздействия Рязанской ГРЭС // Химическое и нефтегазовое машиностроение. М. 2000. – № 4. – С. 29–31.

51. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н. Лизиметры и их использование в орошаемой земледелии // Информационный листок МТ № 3 76–90. Рязанский ЦНТИ. Рязань, 1990.

52. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Давыдова И.Ю., Максименко В.П. Управление водным режимом мелиорируемых черноземов // Информационный листок МТ № 12–93. Рязанский ЦНТИ. Рязань, 1993.

53. Мажайский Ю.А., Давыдова И.Ю., Евтюхин В.Ф., Желязко В.И., Игнатенок В.А. Водная эрозия почв и борьба с ней // Информационный листок МТ № 22–93. Рязанский ЦНТИ. Рязань, 1993.

54. Медведева А.С., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н., Игнатенок В.А. Разработка рациональной структуры посевов на пойменных землях с целью получения экологически безопасной продукции // Информационный листок МТ № 165–94. Рязанский ЦНТИ. Рязань, 1994.

55. Мажайский Ю.А., Михальченко Н.Н., Желязко В.И., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н. Доочистка сточных вод на сельскохозяйственных полях орошения // Информационный листок МТ № 176–94. Рязанский ЦНТИ. Рязань, 1994.

56. Никушина Т.К., Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А. Изучение содержания тяжелых металлов в почве и растительности // Рязанский экологический вестник. 1995. – № 3. – С. 52–55.

57. Мажайский Ю.А., Никушина Т.К., Евтюхин В.Ф., Пчелинцева С.А., Шленская Ф.С., Гончарова. Исследование содержания тяжелых металлов в серых лесных почвах Рязанской области // Социально-гигиенические и медицинские проблемы здоровья: Сб. научных трудов Рязанского ГМУ. Рязань. Изд-во Медуниверситет. 1995.

58. Евтюхин В.Ф., Игнатенок В.А. Баланс тяжелых металлов в почвах Рязанского района // Современные экологические устойчивые энерго- и ресурсосберегающие технологии и системы сельскохозяйственного производства и защиты окружающей среды: Сб. научных трудов Рязанской ГСХА. Рязань. Изд-во РГСХА. 1997.

59. R. Meißner, H. Balla, O. Büttner, M. Stratschka, H. Hagencann и др. Qufnmifizierung von diffusen Stoffausmäßen aus der Landwirtschaftlichen flächennutzung in den Einzugsgebieten von Oka und Elbe // Teilprojekt des deutsch-russischen Kooperations-Vorhabens Oka-Elbe-phase. BMBF, 1997. – 16 s.

60. Бочкарев Я.В., Мажайский Ю.А., Никушина Т.К., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н., Игнатенок В.А. Исследование содержания тяжелых металлов в почвах Рязанского района // Современные энерго- и ресурсосберегающие системы сельскохозяйственного производства: Сб. научных трудов Рязанской ГСХА. Вып. 2. – Ч. 1. Изд-во РГСХА. 1998.

61. Евтюхин В.Ф., Игнатенок В.А. Разработка противоэрозионных мероприятий // Информационный листок МТ№ 24–98. Рязанский ЦНТИ. Рязань, 1998.

62. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н., Игнатенок В.А., Никушина Т.К. Содержание тяжелых металлов в выборочно обследованных почвах хозяйств Рязанской области // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии сельскохозяйственного производства: Сб. научных трудов Рязанской ГСХА. Рязань. Изд-во РГСХА. 1998. – С. 143–148.

63. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н., Гусева Т.М., Бочкарев Я.В. Ландшафтно-экологические исследования загрязнения в бассейне р. Оки // Современные энерго- и ресурсосберегающие экологические технологии и системы сельскохозяйственного производства: Сб. научных трудов Рязанской ГСХА. Рязань. Изд-во РГСХА. 1999. – С. 20–23.

64. Маркова В.Е., Ефимов В.Н., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф. Состояние окружающей среды и природных ресурсов // Программа: «Система ведения агропромышленного производства Рязанской области на 1998-2010 гг.». Рязань. Изд-во РГСХА. 1999. – С. 245–251.

65. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н., Игнатенок В.А. Влияние предприятий нефтяной промышленности на окружающую среду // Новое в экологии и безопасности жизнедеятельности: Сб. научных трудов.

Часть 1. Санкт-Петербург. Изд-во Балтийский государственный университет. 2000. – С. 479.

66. Мажайский Ю.А., Бочкарев Я.В., Желязко В.И., Евтюхин В.Ф., Гусева Т.М. Регулирование водного режима при техногенном загрязнении земель // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: Сб. научных трудов Рязанской ГСХА. Вып. 4. Рязань. Изд-во РГСХА. 2000. – С. 8–12.

67. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н., Тобратов С.А. Приоритетные загрязнители окружающей среды в зоне воздействия Рязанской ГРЭС // Социально-гигиенический мониторинг здоровья населения: Сб. научных трудов Рязанского ГМУ. Рязань. Изд-во Медуниверситет. 2000. – С. 225–226.

68. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Гусева Т.М., Никушина Т.К. Концепция мониторинга агроландшафта в Рязанской области // Социально-гигиенический мониторинг здоровья населения: Сб. научных трудов Рязанского ГМУ. Рязань. Изд-во Медуниверситет. 2000. – С. 227–228.

69. Мажайский Ю.А., Гусева Т.М., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н., Игнатенок В.А. Экологическое состояние малых рек Окского бассейна // Социально-гигиенический мониторинг здоровья населения: Сб. научных трудов Рязанского ГМУ. Рязань. Изд-во Медуниверситет. 2000. – С. 228–229.

70. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Резникова А.В. Оценка эколого-мелиоративного агроландшафта // География и природные ресурсы: Сб. научных трудов. Новосибирск. Изд-во «Наука СО РАН». 2001. – С. 106–111.

71. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Никушина Т.К., Желязко В.И., Данинская Т.В. Региональное нормирование и распределение тяжелых металлов в почвах южной части нечерноземной полосы РФ // Современные энерго- и ресурсосберегающие экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: Сб. научных трудов Рязанской ГСХА. Рязань. Изд-во РГСХА. 2001. – С. 44–57.

72. Захарова О.А., Бочкарев Я.В., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Игнатенок В.А., Косорукова Т.Ю. Гидробиологические исследования на реке Проне и Ново-Мичуринском водохранилище в зоне воздействия Рязанской ГРЭС // Современные энерго- и ресурсосберегающие экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: Сб. научных трудов Рязанской ГСХА. Рязань. Изд-во РГСХА. 2001. – С. 67–73.

73. Гусева Т.М., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Игнатенок В.А. Технология очистки дренажно-коллекторных вод // Современные энерго- и ресурсосберегающие экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: Сб. научных трудов Рязанской ГСХА. Рязань. Изд-во РГСХА. 2001. – С. 108–110.

74. Гусева Т.М., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Игнатенок В.А., Матюхин Р.И. Экологические особенности систем водопользования в гумидной зоне // Актуальные проблемы экологии и сельскохозяйственного производ-

ства на современном этапе: Сб. научных трудов Рязанской ГСХА. Рязань. Изд-во РГСХА. 2002. – С. 37–39.

75. Евтюхин В.Ф., Никушина Т.К., Дубенок Н.Н., Красенькова Н.И., Желязко В.И. Профильное распределение и региональное нормирование тяжелых металлов в почвах Рязанской области // Сборник научных трудов Рязанского НИПТИ АПК. Рязань. Изд-во ООО «Шиловская типография». 2002. – С. 209–217.

76. Мажайский Ю.А., Бочкарев Я.В., Евтюхин В.Ф., Матюхин Р.И., Ильинский А.В., Назарова Е.А. Оценка воздействия тяжелых металлов на блок-компонент «почва-вода-растение // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: Сборник научных трудов. Вып. 6. НПЦ «Информационные технологии». Рязань, 2002. – С. 66–71.

77. Евтюхин В.Ф., Гусева Т.М., Матюхин Р.И. Сравнительная экологическая эффективность агрохимических средств снижения поступления тяжелых металлов в продукцию растениеводства на загрязненных агроландшафтах // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: Сборник научных трудов (вып. 7). Ч. I. ООО «НПЦ «Информационные технологии». Рязань, 2003. – С. 101–103.

78. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Никушина Т.К., Игнатенок В.А., Гусева Т.М., Гальченко С.В. и др. Использование земельных ресурсов и состояние почвенного покрова // Социально-гигиенический мониторинг здоровья населения. НПЦ «Информационные технологии». Рязань, 2003. – С. 234–238.

79. Мажайский Ю.А., Безднина С.Я., Евтюхин В.Ф., Гусева Т.М., Матюхин Р.И., Ильинский А.В. и др. Научные исследования на экополигоне в гумидной зоне // Влияние природных и антропогенных факторов на социо-экосистемы. ООО «НПЦ «Информационные технологии». Рязань, 2003. – С. 3–5.

80. Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Давыдова И.Ю. Экологический риск и мониторинг почв, загрязненных нефтеуглеводородами // Влияние природных и антропогенных факторов на социоэкосистемы. ООО «НПЦ «Информационные технологии». Рязань, 2003. – С. 294–304.

81. Мажайский Ю.А., Гусева Т.М., Евтюхин В.Ф., Жигулина Е.В., Матюхин Р.И., Дорохина О.Е. и др. Экологическое состояние агроландшафта левобережья Окского бассейна и реабилитация загрязненных тяжелыми металлами почв водосборных территорий // Сохранение и повышение продуктивности мелиорируемых земель центра Нечерноземной зоны России и Беларуси / Под общей ред. Ю.А. Мажайского, А.П. Лихацевича. Рязань: Ряз. гос. сельскохозяйств. акад. им. П.А. Костычева, 2005. – С. 120–164.

82. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Родин И.К., Мельникова С.А., Морозов А.Е., Кирюшин В.А. и др. Эколого-мелиоративные аспекты рекультивации нефтезагрязненных земель // Сохранение и повышение продуктив-

ности мелиорируемых земель центра Нечерноземной зоны России и Беларуси / Под общей ред. Ю.А. Мажайского, А.П. Лихацевича. Рязань: Ряз. гос. сельскохоз. акад. им. П.А. Костычева, 2005. – С. 356–394.

83. Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Матюхин Р.И., Жигулина Е.В. Продуктивность сельскохозяйственных культур на загрязненной тяжелыми металлами дерново-подзолистой почве // Влияние природных и антропогенных факторов на биоэкологические системы. Выпуск III. Под редакцией профессора А.А. Ляпкало. Рязань, 2005. – С. 116–119.

84. Ермошина Н.П., Тобратов С.А., Евтюхин В.Ф., Мажайская И.Ю., Игнатенко В.А. Оценка экологической эффективности агроэкологических приемов при реабилитации почв, загрязненных тяжелыми металлами // Социально-гигиенический мониторинг здоровья населения / Под ред. В.Г. Макаровой и В.А. Кирюшина. Вып. 9. Ч. 1. Рязань: РГМУ, 2005. С. 395–400.

85. Кирейчева Л.В., Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Ильинский А.В., Яшин В.М., Хохлова О.Б. и др. Технология восстановления природно-ресурсного потенциала (плодородия почв) деградированных агроландшафтов // Научные технологии управления системами комплексной мелиорацией земель. Часть I. М.: ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2005. – С. 5–6.

86. Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Кирейчева Л.В., Ильинский А.В., Яшин В.М., Хохлова О.Б. Технология санации техногенно загрязненных деградированных почв // Научные технологии управления системами комплексной мелиорацией земель. Часть I. М.: ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2005. – С. 7–8.

87. Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Гулюк Г.Г., Желязко В.И., Ильинский А.В., Пчелинцева С.А. и др. Технология биологической очистки дренажного стока // Научные технологии управления системами комплексной мелиорацией земель. Часть II. М.: ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2005. – С. 8–9.

88. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Гулюк Г.Г., Желязко В.В., Ильинский А.В., Лисютин В.А. Технология полива сельскохозяйственных культур в условиях техногенного загрязнения мелиорируемых агроландшафтов // Научные технологии управления системами комплексной мелиорацией земель. Часть II. М.: ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2005. – С. 9–10.

89. Mazhaysky Yu.A., Evtyhin V.F., Ilyinsky A.V., Matyukhin R.I. Metals on productivity of agricultural crops // Inżynieria ekologiczna nr 13. Kształowanie i ochrona środowiska. – Polskie towarzystwo inżynierii ekologicznej. Warszawa, 2005. – S. 124–125.

90. Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Томин Ю.А., Дорохина О.Е. Системы водопользования в гумидной зоне // Методы и технологии комплексной мелиорации и экосистемного водопользования. М.: Научное издание, 2006. – С. 165–176.

91. Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Гольдбурд Л.Е., Хвостова Е.Н., Попова Ю.С., Дронник Е.А. Рекультивация земель, нарушенных строительством магистрального нефтепродуктопровода «Кстово-Ярославль-Кириши-

Приморск» (I очередь) // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: Сб. науч. тр. Вып. 2 / Под общ. ред. Ю.А. Мажайского. Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ, 2006. – С. 473–481.

92. Евтюхин В.Ф., Матюхин Р.И., Жигулина Е.В. Фитомелиорация люпином узколистным дерново-подзолистых почв, загрязненных тяжелыми металлами // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: Сборник научных трудов. Рязань: Изд-во МФ ГНУ ВНИИГиМ, 2006. – с. 271–274.

93. Евтюхин В.Ф., Ильинский А.В., Игнатенок В.А. Оценка воздействия строительства нефтепродуктопроводов на состояние окружающей природной среды // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: Сб. науч. тр. Вып. 2 / Под общ. ред. Ю.А. Мажайского. Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ, 2006. – С. 462–463.

94. Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Жигулина Е.В. Фитомелиорация, как один из методов реабилитации, загрязненных тяжелыми металлами почв // Социально-гигиенический мониторинг здоровья населения» / Под ред. Заслуженного работника Высшей школы РФ, доктора медицинских наук, проф. В.А. Кирюшина. Рязань: Рязанский государственный медицинский университет, 2007. – С. 259–262.

95. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Матюхин Р.И. Комплексные приемы реабилитации дерново-подзолистых почв, загрязненных тяжелыми металлами // Социально-гигиенический мониторинг здоровья населения» / Под ред. Заслуженного работника Высшей школы РФ, доктора медицинских наук, проф. В.А. Кирюшина. Рязань: Рязанский государственный медицинский университет, 2007. – С. 269–273.

96. Ильинский А.В., Евтюхин В.Ф. Организация и проведение производственно-экологического мониторинга при строительстве объектов магистральных нефтепродуктопроводов (МНПП) // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: Сб. науч. тр. Вып. 3 / Под общ. ред. Ю.А. Мажайского. Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ, 2008. – С. 457–464.

97. Черникова О. В., Евтюхин В.Ф. Ильинский А.В. Влияние применения систем удобрений на подвижность тяжелых металлов в опдзоленном черноземе // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: Сб. науч. тр. Вып. 4 / Под общ. ред. Ю.А. Мажайского. Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ, 2010. – С. 305–308.

98. Ильинский А.В., Колбаев С.В., Евтюхин В.Ф., Черникова О. В. Разработка приемов агрохимической мелиорации почв, загрязненных тяжелыми металлами // Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий: Сб. науч. тр. Вып. 4 / Под общ. ред. Ю.А. Мажайского. Рязань: Мещерский филиал ГНУ

ВНИИГиМ, 2010. – С. 438–441.

99. Евтюхин В.Ф., Мажайский Ю.А., Гусева Т.М., Матюхин Р.И. Оценка загрязнения тяжелыми металлами почв обитания охотничьих животных // Материалы пятой Всерос. конф. Состояние среды обитания и фауны охотничьих животных России. М.: КМК, 2011. – С.84–89.

#### **Учебно-методические работы**

100. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Игнатенок В.А., Назарова Е.С. Мероприятия по сельскохозяйственному использованию пойменных земель. Рязань: Изд-во ООО «НПЦ «Информационные технологии», 2000. – 70 с.

101. Захарова О.А., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф. Противоэрозионные мероприятия с учетом экологических требований. Рязань: Изд-во «Мила», 2000. – 82 с.

102. Евтюхин В.Ф. Полевые и лабораторные методы изучения гидрофизических свойств почвы. Рязань: Изд-во Медуниверситет, 2000. – 16 с.

103. Евтюхин В.Ф. Противоэрозионные мероприятия. Рязань: Изд-во Медуниверситет, 2000. – 28 с.

#### **Рекомендации, нормативные документы, научные отчеты**

104. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Игнатенок В.А., Назарова Е.С. Мероприятия по сельскохозяйственному использованию пойменных земель: Методическое пособие / Под ред. Ю.А. Мажайского. Рязань: Мелиоводхоз, 2000. – 70 с.

105. Мажайский Ю.А., Никушина Т.К., Желязко В.И. Михальченко Н.Н., Евтюхин В.Ф., Евсенкин К.Н. и др. Рекомендации по регулированию водного режима и баланса тяжелых металлов увлажняемых почв при антропогенных нагрузках / Под ред. Ю.А. Мажайского. Рязань: ГНУ МФ ВНИИ-ГиМ, «Рязаньмелиоводхоз», 2001. – 150 с.

106. Мажайский Ю.А., Бочкарев Я.В., Дубенок Н.Н., Гусева Т.М., Евтюхин В.Ф. и др. Рекомендации по проведению эколого-мелиоративных мероприятий рекультивации техногенно загрязненных и деградированных культурных ландшафтов: Рекомендации. Рязань: ООО «НПЦ «Информационные технологии», 2002. – 142 с.