

На правах рукописи

МАТЮХИН Роман Игоревич

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПРИЕМОВ
РЕАБИЛИТАЦИИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ
ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ
(на примере левобережья р. Оки)**

Специальность 03.00.16 – «Экология»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Рязань, 2005

Работа выполнена в Рязанской государственной сельскохозяйственной академии имени профессора П.А. Костычева.

Научный руководитель: доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Мажайский Ю.А.

Официальные оппоненты: доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Мерзлая Г.Е.
кандидат биологических наук
Пчелинцева С.А.

Ведущая организация: **«Рязанский научно-исследовательский и
проектно-технологический институт АПК»
(НИПТИ АПК).**

Защита состоится «9» июня 2005 года в «14» часов на заседании диссертационного совета Д. 212.203.17 в Российском университете дружбы народов по адресу: 113093, г. Москва, Подольское шоссе, д. 8/5, экологический факультет РУДН.

С диссертацией можно ознакомиться в Научной библиотеке Российского университета дружбы народов по адресу: 117198, г. Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6.

Автореферат разослан «5» мая 2005 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета
доктор биологических наук, профессор



Черных Н.А.

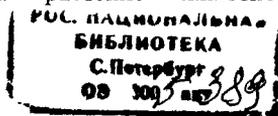
2006-4
6624

2143423

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследований. В последние десятилетия техногенное воздействие стало ведущим по значимости и масштабу экологическим фактором, влияющим на эколого-экономическое состояние территории. Интенсивное промышленное и сельскохозяйственное использование природных ресурсов вызвало существенные изменения биохимических циклов большинства химических элементов. В первую очередь это относится к тяжелым металлам (ТМ), накопление которых в природной среде в высоких концентрациях связано с антропогенной деятельностью. Значительная часть тяжелых металлов, загрязняющих природную среду, попадает в почву, которая является важнейшим биохимическим барьером и основной жизнеобеспечивающей сферой. Она в наибольшей степени испытывает негативные воздействия, обусловленные многообразной производственной деятельностью человека, и аккумулирует продукты техногенеза. В Российской Федерации площадь загрязненных ТМ земель достигла более 70 млн. га, из них около 1 млн. га имеют чрезвычайно опасный уровень загрязнения.

Рязанская область входит в Нечерноземную зону Российской Федерации. Общий земельный фонд области составляет 3,96 млн. га, в том числе площадь земель сельскохозяйственного назначения – 2,9 млн. га. Большая часть территории Рязанской области (97%) входит в Окский бассейн. По данным Управления Росприроднадзора по Рязанской области в почвах районов, подвергающихся воздействию выбросов промышленных предприятий, транспорта, тепловых электростанций, количество ТМ (Pb, Cd, Zn, Cu и др.) значительно превышает фоновый уровень, и насыщение этими элементами на отдельных площадях уже сегодня достигло критического значения [Государственный доклад..., 2002-2004]. Поступая в почвы и водные источники, загрязняющие вещества накапливаются и переходят от звена к звену трофической цепи: «вода – почва – растение – животное – человек».



При увеличивающемся загрязнении биосферы важное практическое значение имеет, с одной стороны, познание механизмов и закономерностей поведения и распределения ТМ в экосистеме, с другой, к числу наиболее актуальных проблем относится разработка технологий и реабилитация уже загрязненных почв и получение экологически чистой продукции.

Цель и задачи исследований. Цель настоящей работы заключается в исследовании и оценке воздействия тяжелых металлов на почвы агроландшафта и разработке экологически обоснованных приемов реабилитации загрязненных тяжелыми металлами дерново-подзолистых почв левобережья р. Оки при их сельскохозяйственном использовании.

Поставленная цель определила необходимость решения следующих задач:

- охарактеризовать источники и пути поступления тяжелых металлов в почву;
- выявить основные химические загрязнители, закономерности и особенности их поглощения сельскохозяйственными культурами;
- проанализировать современные методы снижения фитотоксичности тяжелых металлов в почве;
- оценить современное экологическое состояние дерново-подзолистых почв в условиях критической антропогенной нагрузки;
- изучить закономерности миграции и аккумуляции тяжелых металлов в дерново-подзолистых почвах;
- исследовать влияние комплексных приемов реабилитации загрязненной тяжелыми металлами дерново-подзолистой почвы на повышение экологической безопасности агроэкосистемы;
- выполнить эколого-экономическую оценку использования приемов реабилитации загрязненных тяжелыми металлами почв.

Методика проведения исследований. В качестве методологической основы использованы анализ и аналитическое обобщение результатов собственных полевых, лизиметрических и вегетационных экспериментов,

проведенных на опытном эколополигоне «Мещера», расположенного на землях ОПХ «Полково» Рязанского района Рязанской области, с анализом исследований других авторов в сходных почвенно-климатических условиях. Расчетные балансовые методики положены в основу разработанных комплексных приемов реабилитации почв и улучшения их агрохимических показателей. При проведении экспериментов и закладке опытов применялись стандартные методики, обеспечивающие достоверность научных результатов, выводов и практических рекомендаций производству.

Научная новизна выполненных автором исследований заключается в том, что впервые проведено агроэкологическое и экономическое обоснование комплексных приемов реабилитации дерново-подзолистых почв загрязненных тяжелыми металлами, на основании выявленных критериальных закономерностей их накопления, миграции и аккумуляции в системе «источник загрязнения – почва – вода – растение».

В процессе исследований получены следующие результаты, которые **выносятся на защиту**:

- продуктивные особенности различных сельскохозяйственных культур в зависимости от степени загрязнения дерново-подзолистой почвы тяжелыми металлами;
- оценка закономерностей поглощения тяжелых металлов сельскохозяйственными культурами на дерново-подзолистых почвах;
- комплексные приемы реабилитации загрязненных тяжелыми металлами дерново-подзолистых почв;
- эколого-экономическая целесообразность реабилитации загрязненных тяжелыми металлами дерново-подзолистых почв для их эффективного использования в практике сельскохозяйственного производства.

Практическая ценность. Практическое значение предложенных комплексных приемов реабилитации дерново-подзолистых почв, загрязненных тяжелыми металлами заключается в возможностях самостоятельного

применения их сельскохозяйственными предприятиями, фермерами и другими землепользователями.

Основы оптимизации загрязненных тяжелыми металлами дерново-подзолистых почв могут также использоваться для обоснования параметров и технологий улучшения эффективного плодородия малопродуктивных почв.

Предложенные приемы реабилитации загрязненных почв тяжелыми металлами, технические решения по повышению их экологической устойчивости обеспечивают гарантированную продуктивность при их использовании, увеличение урожайности сельскохозяйственных культур на 88-203% и получение экологически чистой продукции.

Результаты исследований включены в практические научно-обоснованные нормативные документы: «Рекомендации по проведению эколого-мелиоративных мероприятий рекультивации техногенно загрязненных и деградированных культурных ландшафтов» (2002), «Научно обоснованные рекомендации по регулированию водного режима антропогенно загрязненных почв с применением усовершенствованных конструкций водооборотных гидромелиоративных систем» (2002), а также использовались при составлении ежегодных научных отчетов МФ ГНУ ВНИИГиМ по программе РАСХН тема 12.03.04. «Разработать научно-методические основы экологически безопасного и экономически эффективного функционирования систем водопользования в АПК с обоснованием экологического аудирования».

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

Апробация работы. Материалы исследований обсуждались на заседаниях кафедры «ГиМПСХП» Технологического факультета РГСХА (2002, 2003), на заседаниях Ученого Совета МФ ГНУ ВНИИГиМ (2002-2004). Основные результаты работы доложены на научно-производственных конференциях РГСХА (2002, 2003), Международных научных конференциях (Москва 2002, Рязань 2004).

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 11 печатных работах, в том числе две работы представлены научно-практическими рекомендациями производству.

Структура и объем диссертация. Диссертация состоит из введения, 6 глав, выводов и предложений производству, изложена на 190 страницах машинописного текста, иллюстрирована 11 рисунками, содержит 45 таблиц и 14 приложений. Библиографический список включает 204 наименования.

Автор настоящей работы выражает благодарность за помощь в проведении исследований, научные консультации и ценные советы: первому научному руководителю члену корреспонденту РАСХН и НАН КР, академику МАЭП и РАВН, д.т.н., профессору Я.В. Бочкареву; научному консультанту заведующему лабораторией экологии природообустройства МФ ГНУ ВНИИГиМ, к.с.х.н., доценту В.Ф. Евтюкину; сотруднику РУДН, д.б.н., профессору Н.А. Черных; сотрудникам МФ ГНУ ВНИИГиМ: к.с.х.н., доценту Т.К. Никушиной, к.с.х.н. Ю.А.Томину, н.с. В.А. Игнатенок; сотрудникам кафедры общей гигиены с курсом экологии РГМУ: к.с.х.н. Т.М. Гусевой, к.б.н., доценту С.В. Гальченко.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе «**Экологическая роль почвы в условиях возрастающей техногенной нагрузки (обзор литературы)**» на основе анализа литературного материала выявлены источники и пути поступления ТМ в почву в условиях техногенного загрязнения агроландшафтов. Основными источниками поступления ТМ в природную среду являются предприятия промышленности: тепловые электростанции, металлургические и нефтеперерабатывающие заводы, транспорт и др. Загрязненная атмосфера является главным источником поступления ТМ в почву. Миграционная способность элементов в почве зависит от совокупных агрохимических свойств почвы, водоудерживающей способности при промывном режиме, от

наличия мелкодисперсных фракций различных минералов, органического вещества, минеральных и органических кислот [В.А. Большаков, В.В. Добровольский, Б.А. Ягодин, В.Г. Минеев, Н.А. Черных, М.М. Овчаренко, А.И. Перельман, Н.Г. Зырин, В.А. Ковда, П.В. Елпатьевский, В.Б. Ильин, Ю.В. Алексеев, А.П. Виноградов, А. Кабата-Пендиас].

На основе анализа литературы раскрыта экологическая роль почвы в условиях возрастающей антропогенной нагрузки. Проанализированы приемы снижения фитотоксичности ТМ в почве и выявлено, что использование определенных систем удобрений обеспечивает существенное снижение уровня тяжелых металлов в растениеводческой продукции. При этом улучшаются физические, химические и биологические свойства почвы, что способствует повышению продуктивности почвы и снижению подвижности большинства тяжелых металлов. В тоже время особенности почвообразования, свойства почв, вариабельность сочетаний загрязнителей – токсикантов определяют необходимость научного подхода к решению данной проблемы для условий Рязанской области по разработке комплексных приемов рекультивации дерново-подзолистых почв загрязненных тяжелыми металлами, а также получения экологически чистой продукции.

Во второй главе **«Характеристика объектов, методов и условий проведения исследований»** приведено обоснование экспериментальных исследований, в основу которых положена концепция о возможности использования загрязненных ТМ почв для сельскохозяйственного производства.

Объектом исследований являются дерново-подзолистые почвы левобережья р. Оки Рязанской области, для которых характерно низкое содержание гумуса 2,04% в слое 0-20 см, далее по профилю его содержание резко падает, так как материнская порода содержит весьма незначительное количество органических веществ. Почвообразующие породы имеют слабо кислую реакцию (рН 5,1), корнеобитаемые слои в связи с известкованием,

имеют близкую к нейтральной реакцию почвенного раствора. Гидролитическая кислотность в этих слоях составляет 1,74-1,85 мг-экв/100г, сумма обменных оснований – 2,9-3,0 мг-экв/100г, емкость поглощения катионов небольшая – 4,64-4,85 мг-экв/100г. Степень насыщенности основаниями верхних слоев почв характерна для дерново-подзолистых почв и составляет 61,9-62,5%. Содержание изучаемых ТМ в песках и супесях, на которых сформировались дерново-подзолистые почвы Рязанской области, составляет: Pb – 2 мг/кг, Cd – 0,05, Zn – 4, Cu – 0,6 мг/кг. В распределении их по профилю отмечается снижение от гумусного горизонта к почвообразующей породе. Степень подвижности в верхних горизонтах небольшая, за исключением Cd.

При региональном почвенно-экологическом обследовании территории Рязанской области, проведенным Мещерским филиалом ГНУ ВНИИГиМ [Евтюхин, 2001], выявлено, что многие компоненты природной системы испытывают воздействие от локальных источников загрязнения через атмосферу, участвуя в трансграничном переносе химических загрязнителей. В процессе обследования были получены результаты по содержанию ТМ в точках отбора проб значительно превышающие средние данные. Поэтому оценка риска на агроландшафтной территории характеризует вероятность загрязнения. Характер географии распределения техногенных загрязнителей в данном регионе и индуктивно-логический прогноз, выполненный по индексу суммарного загрязнения (Z_c) Ю.Е. Саета, позволил прогнозировать, что в ближайшей перспективе на значительных территориях агроландшафта Рязанской области возможно накопление ТМ до повышенных и высоких уровней загрязнения (рис. 1).

Следует обратить внимание, что происходит увеличение ареала площади повышенного содержания тяжелых металлов в почвах вокруг промышленных комплексов, тепловых электростанций и других объектов. Конфигурация изолиний на картосхемах зависит от направления

господствующих ветров, рельефа местности, разливов рек, источников загрязнения.

Результаты обследования территории Рязанской области свидетельствуют, что сельскохозяйственные угодья, расположенные в непосредственной близости от промышленных комплексов, испытывают высокую антропогенную нагрузку.

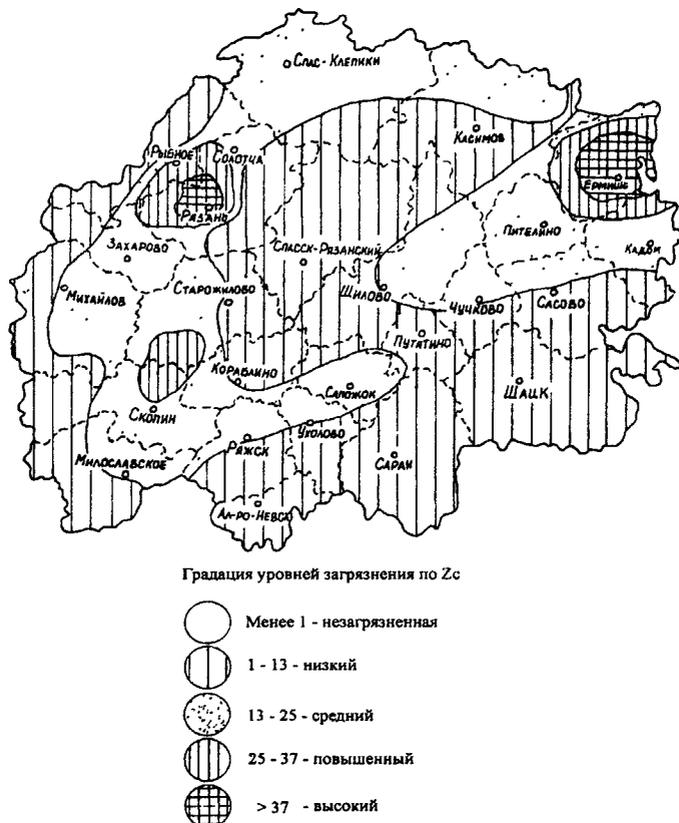


Рисунок 1. Карта-схема загрязнения территории Рязанской области.

Для экологической оценки почвы использовалась градация уровней загрязнения основанная на значениях регионального геохимического фона [Мажайский, 2002] для изучаемых металлов (табл. 1).

Таблица 1. Градация уровней загрязнения по валовому содержанию тяжелых металлов, мг/кг.

| Элементы | Региональный фон | Градация уровней загрязнения почв | | | | |
|----------|------------------|-----------------------------------|------------|-------------|----------------|-------------|
| | | 1 – незагрязненный | 2 – низкий | 3 – средний | 4 – повышенный | 5 – высокий |
| 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 |
| Zn | 35±3 | <35 | 35-70 | 70-105 | 105-140 | 145-175 |
| Cu | 27±4 | <27 | 27-54 | 54-81 | 81-116 | 116-151 |
| Zc | - | <1 | 1-13 | 13-25 | 25-37 | >37 |

Таким образом, в условиях напряженной экологической ситуации, сложившейся в некоторых районах на ландшафтах левобережья р. Оки в связи с химическим загрязнением агросистем, с особой остротой стоит проблема безопасного сельскохозяйственного использования почв с разными уровнями загрязнения и выращивания на ней экологически чистой сельскохозяйственной продукции.

В третьей главе «Влияние техногенного загрязнения на продуктивные функции растений» представлены исследования по изучению фитотоксичности ТМ. Для этого в лизиметрах были созданы уровни загрязнения почвы, обоснованные по суммарному индексу загрязнения, которые равнялись 18,1, 60,6, 188,0, что соответствовало среднему, повышенному и чрезвычайно опасному загрязнению. В данной серии опытов изучалось влияние разной степени загрязнения почвы ТМ на продуктивность звена севооборота: картофель (2002 г), овес + клевер красный (2003 г) и клевер красный (2004 г).

Суммарная продуктивность звена севооборота незагрязненной дерново-подзолистой почвы (вариант - контроль) составила 151,2 ц/га кормовых единиц (рис. 2). Фитотоксичные свойства ТМ увеличивались от среднего уровня загрязнения (131,2 ц/га кормовых единиц) к чрезвычайно опасному (60,9 ц/га кормовых единиц). Снижение продуктивности происходит на 20,0 – 90,3 ц/га кормовых единиц или на 13,2 – 59,7%.

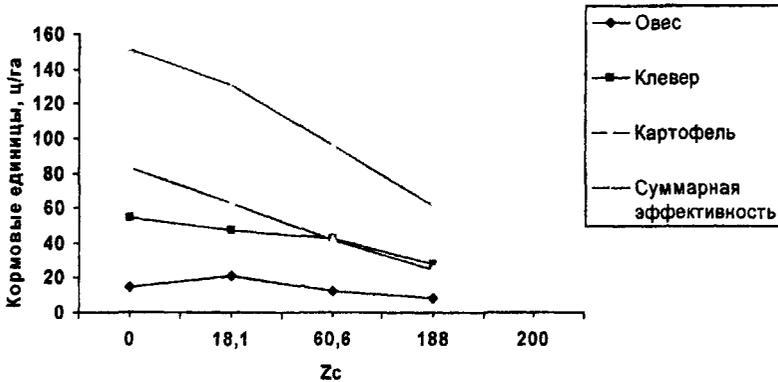


Рисунок 2. Зависимость продуктивности сельскохозяйственных культур от уровня загрязнения почвы.

Приведенные результаты лизиметрического опыта показали, что при увеличении загрязнения почвы урожаи картофеля и клевера резко снижаются, овес обладает большей устойчивостью к воздействию тяжелых металлов.

В вегетационном опыте, проведенном в 2002 году, почва была загрязнена в соответствии с градацией уровней загрязнения основанной на значениях регионального геохимического фона. На варианте с исходной дерново-подзолистой почвой получен наименьший урожай клубней, в среднем 48,2 г/сосуд. В варианте, где создан уровень загрязнения равный региональному геохимическому фону, поведение внесенных элементов было положительным. Без сомнения Си и Zn выполнили роль биомикроэлементов, что способствовало увеличению урожая клубней картофеля в среднем на 20,0 г/сосуд или 41,5% (табл. 2). На варианте с низким уровнем загрязнения был получен наивысший урожай, и на этом варианте элементы-загрязнители участвовали в биохимических процессах растения как биомикроэлементы. Прибавка этого варианта к контролю составила 23,4 г/сосуд (48,5%), к региональному геохимическому фону 3,4 г/сосуд (+5%). Далее по мере

загрязнения почвы прибавки урожая картофеля к контролю существенно снижаются, относительно низкого уровня загрязнения. При этом наблюдается фитотоксичность при среднем, повышенном и высоком уровнях загрязнения, так как произошло снижение выхода продукции на 16,1 г/сосуд (24,5%), 25,1 г/сосуд (35,2%) и 29,0 г/сосуд (40,5%) соответственно.

Таблица 2. Влияние разных уровней загрязнения дерново-подзолистой почвы ТМ на урожай картофеля в модельном вегетационном эксперименте.

| Варианты | Урожай картофеля, г/сосуд | Изменение урожая | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------|--------|---------|--------|--------|
| | | г/сосуд | % | г/сосуд | % | |
| Контроль | 48,2 | – | – | – | – | |
| Региональный геохимический фон | 68,2 | + 20,0 | + 41,5 | – | – | |
| Уровни загрязнения | Низкий | 71,6 | + 23,4 | + 48,5 | + 3,4 | + 5,0 |
| | Средний | 55,5 | + 7,3 | + 15,1 | – 12,7 | – 18,6 |
| | Повышенный | 46,5 | – 1,7 | – 3,5 | – 21,7 | – 31,8 |
| | Высокий | 42,6 | – 5,6 | – 11,6 | – 25,6 | – 37,5 |
| НСР _{0,05} | 2,9 | – | – | – | – | |

Таким образом, в опытах, где моделировались разные уровни загрязнения, наблюдается определенная динамика урожайности сельскохозяйственных культур. На нормальном уровне функционирования экосистемы допустимые антропогенные воздействия на агроландшафт, способствуют увеличению урожайности сельскохозяйственных культур до максимального значения. При дальнейшем увеличении загрязнения почвы тяжелыми металлами урожайность сельскохозяйственных культур снижается до критических значений. По биологической устойчивости к повышенному содержанию в почве тяжелых металлов изучаемые культуры можно расположить в следующий ряд: овес > клевер > картофель.

Наиболее существенный интерес, с позиций экологических и санитарно-гигиенических характеристик, имеет показатель накопления экотоксикантов в сельскохозяйственных культурах и загрязнения почвенно-грунтовых вод. В наших исследованиях созданы почвенные среды с заведомо увеличивающимися концентрациями солей тяжелых металлов. В процессе

вегетации сельскохозяйственных культур эти элементы больше концентрировались в побочной продукции: в ботве, соломе, корнях.

В лизиметрическом опыте на контрольном варианте полученная пищевая продукция экологически безопасна, так содержание Pb, Cd, Zn, Cu в ней было ниже предельно допустимых концентраций. Выращенная побочная продукция (солома овса) и сено клевера также экологически безопасны (вариант контроль), так как концентрация Pb, Cd, Zn, Cu ниже максимально допустимых величин.

Загрязнение дерново-подзолистой почвы от средних до чрезвычайно опасных величин приводило в различной степени к повышению концентрации ТМ в различной продукции. Так, в клубнях картофеля значительно выше ПДК накапливался только Cd, повышение происходило от 0,06 до 0,10 мг/кг, такое явление наблюдалось и в ботве, где оно составило от 0,26 до 0,87 мг/кг. Другие элементы, под влиянием увеличивающегося химического загрязнения, также поглощались растениями картофеля, повышая в клубнях и ботве содержание Pb с 0,21 по 0,34 мг/кг и с 2,2 по 3,1 мг/кг соответственно, Zn с 3,6 по 7,7 мг/кг и с 99,7 по 106,6 мг/кг, однако данные концентрации не превышали допустимых норм.

В зерне овса на варианте $Z_c=18,1$, где был получен наиболее высокий урожай, накопление Cd, Zn, Cu не превышало ПДК, и только концентрация Pb была на 0,3 мг/кг больше допустимых норм. На других вариантах опыта, с высоким и чрезвычайно опасным уровнем загрязнения, более значительно накапливались Pb, Cd, но содержание Zn не превышало ПДК.

Кормовая продукция (сено клевера), полученная на контроле и варианте $Z_c=18,1$ (низкий уровень загрязнения), является экологически безопасной по изучаемым элементам. Загрязнение высокое и чрезвычайно опасное формирует продукцию опасную для здоровья животных.

Исследования, проведенные в условиях вегетационного опыта, подтверждают результаты лизиметрического опыта. В условиях исходной почвы (вариант контроль) и загрязненной до уровня регионального фона (Pb

– 12 мг/кг, Cd – 0,18, Zn – 35, Cu – 27 мг/кг) в клубнях картофеля содержалось Pb, Zn, Cu меньше ПДК и только Cd накапливался в продукции в 2-4 раза больше ПДК. Огромное количество ТМ концентрировалось в ботве картофеля, особенно Zn (табл. 3).

Таблица 3. Содержание тяжелых металлов в картофеле в зависимости от уровня загрязнения почвы. Вегетационный опыт, 2002 год.

| Варианты | Клубни, мг/кг | | | | Ботва, мг/кг | | | | |
|--------------------------------|---------------|-------|-------|------|--------------|-------|-------|--------|------|
| | Pb | Cd | Zn | Cu | Pb | Cd | Zn | Cu | |
| Контроль | 0,25 | 0,063 | 5,2 | 0,93 | 4,39 | 0,721 | 174,0 | 3,07 | |
| Региональный геохимический фон | 0,28 | 0,127 | 8,2 | 2,10 | 4,84 | 1,748 | 343,0 | 9,97 | |
| Уровни загрязнения | Низкий | 0,25 | 0,136 | 15,2 | 1,81 | 6,54 | 2,889 | 544,0 | 15,7 |
| | Средний | 0,46 | 0,136 | 20,7 | 2,69 | 7,03 | 2,764 | 924,0 | 14,6 |
| | Повышенный | 0,41 | 0,105 | 22,6 | 2,35 | 6,34 | 2,090 | 791,0 | 9,3 |
| | Высокий | 0,44 | 0,164 | 33,1 | 2,68 | 16,79 | 4,225 | 1880,0 | 50,4 |
| ПДК пищ. прод. | 0,5 | 0,03 | 10,0 | 5,0 | – | – | – | – | |
| МДУ кормов | 5,0 | 0,3 | 100,0 | 30,0 | – | – | – | – | |

Четвертая глава «Приемы реабилитации дерново-подзолистых почв загрязненных тяжелыми металлами» посвящена изучению приемов реабилитации загрязненной ТМ дерново-подзолистой почвы.

Исследования проводились в условиях лизиметрического и полевого опытов. Дерново-подзолистая почва была загрязнена ТМ до повышенного уровня загрязнения: Pb – 40 мг/кг, Cd – 0,6, Zn – 110, Cu – 90 мг/кг.

Для разработки реабилитационных приемов включили в эксперименты пять вариантов систем удобрений в звене севооборота: картофель (2002 г), ячмень + клевер (2003 г), клевер (2004 г).

В данных исследованиях изучались средние дозы минеральных удобрений $N_{60}P_{60}K_{60}$ на фоне 40 т/га навоза (вариант 2). В третьем и четвертом вариантах на фоне 40 т/га навоза и ежегодного внесения азотных (N_{60}) и калийных (K_{60}) удобрений испытывалось запасное (повышенное) внесение суперфосфата двойного (P_{120} и P_{240} соответственно). В двух последних (пятом и шестом) вариантах изучались отдельно органическая (80

т/га навоза) и минеральная ($N_{60}P_{480}K_{60}$) системы удобрений. В последнем варианте использовалась высокая доза фосфора – 480 кг/га.

На второй культуре звена севооборота вносились азотные (N_{60}) и калийные (K_{60}) удобрения под весеннюю предпосевную обработку почвы, на третьей опытной культуре (клевер) поверхностно в подкормку внесли аммиачную селитру (N_{30}).

В конце исследований, в 2004 году, после второго укоса трав были отобраны почвенные образцы с пахотного слоя. Изучение агрохимических показателей дерново-подзолистой супесчаной почвы показало, что загрязненная почва варианта без удобрений имеет рН 5,7, емкость поглощения ППК 2,9 мг-экв/100г, степень насыщенности основаниями 48,3%. Содержание подвижных питательных веществ сравнительно небольшое: $N-NO_3$ 1,6 млн⁻¹, P_2O_5 20,7 мг-экв/100г, K_2O 3,8 мг-экв/100г.

Все удобрения способствовали повышению агрохимических показателей, то есть улучшалось плодородие почвы. Органическое вещество увеличилось на 0,06-0,54%, подвижный фосфор и калий соответственно на 5,7-11,5 и 2,9-7,4 мг-экв/100г. Все это способствовало повышению эффективной продуктивности растений в звене севооборота.

В 2003 году по схеме исследований в лизиметрическом стационаре был заложен полевой (деляночный) опыт, в котором введен вариант – без загрязнения почвы тяжелыми металлами, то есть имелась исходная почва.

Агрохимические исследования, проведенные после уборки ячменя, показали, что почва, на которой заложен опыт в полевых условиях, отличается меньшим содержанием гумуса и сравнительно кислой реакцией среды. Только высокая доза навоза (80 т/га) и минеральная система удобрений с высокой дозой фосфора (P_{480}) увеличили нитрифицирующую способность дерново-подзолистой почвы, повысив содержание нитратного азота на 1,2-1,3 млн⁻¹. Увеличилось содержание обменного калия на 5,2-19,7 мг-экв/100г почвы и подвижных фосфатов на 1,7-3,7 мг-экв/100г почвы. Улучшение других агрохимических показателей практически не произошло.

В лизиметрическом опыте эффективность различных систем удобрений колебалась в зависимости от культуры и систем удобрений. Увеличение урожая клубней картофеля составило 90-199%, зерна ячменя 39-128%, сена клевера за два укоса 211-482%.

Расчеты продуктивности звена севооборота (лизиметрический опыт) в кормовых единицах определили эффективность, применяемых систем удобрений (рис. 3). Наиболее эффективна оптимальная доза навоза для дерново-подзолистой почвы 40 т/га, высокая доза фосфатов P_{240} кг/га при ежегодном внесении оптимальных для данных культур азота и калия (вариант 4). На втором месте третий вариант, который только отличается дозой фосфора – P_{120} кг/га. На третьем месте – органическая система удобрений, только навоз 80 т/га. Прибавки в звене севооборота колебались в пределах 58,5-134,8 ц/га кормовых единиц или 88-203%.

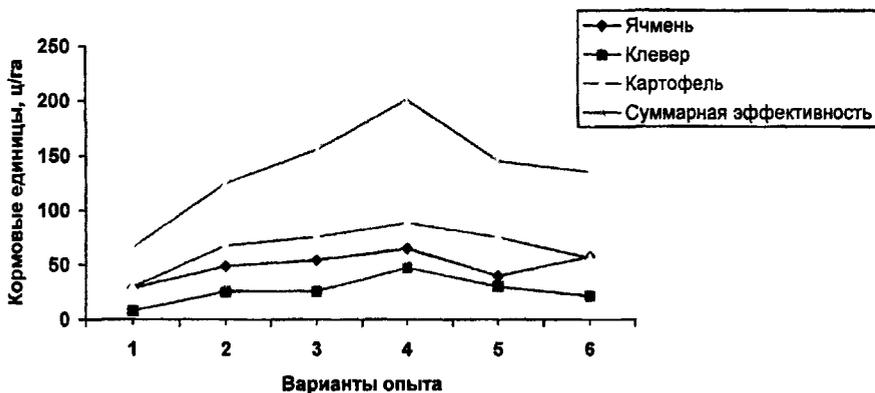


Рисунок 3. Зависимость продуктивности сельскохозяйственных культур от применяемых приемов реабилитации.

Дерново-подзолистая почва в полевом опыте сравнительно кислая рН 4,3-4,6, обеспеченность подвижным фосфором высокая, а калием повышенная и имеет относительно небольшой процент содержания гумуса, поэтому она смогла сформировать сравнительно небольшой урожай, в среднем равный 16,7 ц/га (табл. 4). На таком фоне тяжелые металлы

(повышенное загрязнение) оказали токсическое действие, снизив урожай зерна на 2,7 ц/га или на 16%, а все применяемые системы удобрений дали существенные прибавки, которые составили от 3,4 до 14,7 ц/га или 24-105%. Максимальный урожай был получен от комплексного применения навоза с полным комплексом минеральных удобрений. Изменения доз суперфосфата из расчета 60-240 кг P_2O_5 на 1 га практически не повлияли на величину урожая зерна, прибавки колебались от 13,2 до 14,7 ц/га или 94-105% по сравнению с вариантом без удобрений. Применение в агротехнике органических удобрений (80 т/га навоза) увеличивало урожай зерна только на 8,7 ц/га или 62%, также при использовании только минеральных удобрений с высокой дозой суперфосфата эффект незначительный: 3,4 ц/га или 24%.

Таблица 4. Влияние систем удобрений на урожайность ячменя в условиях повышено загрязненной ТМ дерново-подзолистой почвы.

| №№ вариантов | Зерно, ц/га | Изменения от исходной почвы | | Изменения от варианта 2 | |
|----------------------|-------------|--------------------------------|------|----------------------------|-------|
| | | ± ц/га | % | ± ц/га | % |
| 1. Исходная почва | 16,7 | - | - | - | - |
| 2. Без удобрений | 14,0 | - 2,7 | - 16 | - | - |
| 3. N40+N1P1K1 | 27,2 | + 10,5 | + 63 | + 13,2 | + 94 |
| 4. N40+N1P2K1 | 27,2 | + 10,5 | + 63 | + 13,2 | + 94 |
| 5. N40+N1P4K1 | 28,7 | + 12,0 | + 72 | + 14,7 | + 105 |
| 6. N80 | 22,7 | + 6,0 | + 36 | + 8,7 | + 62 |
| 7. N1P8K1 | 17,4 | + 0,7 | + 4 | + 3,4 | + 24 |
| НСР _{0,05} | 2,5 | - | - | - | - |

Таким образом, максимальная продуктивность звена севооборота в лизиметрическом опыте достигнута от применения органо-минеральной системы удобрений. Максимальный урожай зерна ячменя в полевом (деляночном) опыте получен также от применения этой системы удобрений, при этом 40 т/га навоза и 240 кг P_2O_5 вносится под первую культуру, и ежегодно используются быстрорастворимые азотные и калийные удобрения в средних дозах ($N_{60}K_{60}$).

В лизиметрических исследованиях на загрязненных почвах без внесения удобрений (вариант 1) установлено, что урожай клубней картофеля формируется с повышенным содержанием кадмия; зерна ячменя – свинца, кадмия и цинка. Побочная продукция и сено клевера накапливали несколько меньше, чем максимально допустимый уровень, кроме соломы ячменя.

Применение удобрений снизило в клубнях картофеля и зерне ячменя содержание свинца, кадмия, цинка и меди. Аккумуляция тяжелых металлов в опыте с клевером имеет свои особенности. Второй укос аккумулировал ТМ в 1,7-2,4 раза больше, чем первый, на варианте без внесения удобрений. В варианте 6, где ежегодно вносились оптимальные дозы азота и калия на фоне запасного использования суперфосфата, наоборот, первый укос накапливал в 1,3-3,3 раза больше Pb, Cd, Zn, Cu, чем второй. Другие системы удобрений в основном снижали аккумуляцию ТМ в сене клевера.

Таблица 5. Распределение ТМ в ячмене. Лизиметрический опыт.

| Варианты | Часть растения | Pb | | Cd | | Zn | | Cu | |
|------------------|----------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|
| | | мг/кг | % от сум-мы |
| 1. Без удобрений | зерно | 0,68 | 7,3 | 0,27 | 39,7 | 76 | 25,3 | 6,0 | 10,9 |
| | солома | 1,40 | 15,1 | 0,14 | 20,6 | 59 | 19,7 | 8,8 | 15,9 |
| | корни | 7,2 | 77,6 | 0,27 | 39,7 | 165 | 55,0 | 40,4 | 73,2 |
| 2. Н40+ N1P1K1 | зерно | 0,33 | 1,5 | 0,07 | 5,1 | 59 | 17,9 | 4,4 | 5,6 |
| | солома | 1,68 | 7,8 | 0,10 | 7,3 | 45 | 12,8 | 2,4 | 3,1 |
| | корни | 19,4 | 90,7 | 1,20 | 87,6 | 246 | 70,3 | 71,6 | 91,3 |
| 3. Н40+ N1P2K1 | зерно | 0,33 | 6,9 | 0,13 | 27,0 | 56 | 17,9 | 4,0 | 12,4 |
| | солома | 1,67 | 34,8 | 0,09 | 18,8 | 111 | 35,5 | 5,7 | 17,7 |
| | корни | 2,8 | 58,3 | 0,26 | 54,2 | 146 | 46,6 | 22,5 | 69,9 |
| 4. Н40+ N1P4K1 | зерно | 0,44 | 3,4 | 0,07 | 11,7 | 49 | 10,4 | 4,8 | 7,4 |
| | солома | 0,78 | 6,1 | 0,13 | 21,7 | 107 | 22,8 | 4,4 | 6,8 |
| | корни | 11,6 | 90,5 | 0,40 | 66,6 | 314 | 66,8 | 55,6 | 85,8 |
| 5. Н80 | зерно | 0,32 | 1,4 | 0,18 | 20,9 | 38 | 11,4 | 3,5 | 7,5 |
| | солома | 0,96 | 4,0 | 0,11 | 12,8 | 72 | 19,8 | 4,4 | 9,5 |
| | корни | 22,3 | 94,6 | 0,57 | 66,3 | 254 | 69,8 | 38,6 | 83,0 |
| 6. N1P8K1 | зерно | 0,32 | 3,8 | 0,10 | 9,1 | 53 | 15,1 | 4,4 | 10,3 |
| | солома | 1,03 | 12,3 | 0,11 | 10,0 | 73 | 20,7 | 5,3 | 12,5 |
| | корни | 7,0 | 83,9 | 0,89 | 80,9 | 226 | 64,2 | 32,8 | 77,2 |

Исследования показали, что вегетативные органы ячменя обладают неодинаковой способностью к аккумуляции ТМ. Наименьшее количество металлов накапливается в зерне, наибольшее в корнях (табл. 5).

Так на загрязненной почве (вариант 1) с реакцией близкой к нейтральной среде содержание свинца соответственно в зерне, соломе, корнях составляло: 0,68, 1,40, 7,2 мг/кг, кадмия – 0,27, 0,14, 0,27 мг/кг, цинка 76, 59, 165 мг/кг и меди 6,0, 8,8, 40,4 мг/кг.

Органно-минеральные системы удобрений с разными нормами суперфосфата способствовали снижению в зерне ТМ в среднем на 31-37%, но происходило повышение накопления их в соломе и корнях на 2-107%. Содержание Zn и Cu в зерне снижается больше от органических удобрений (вариант 5), Cd – от минеральных удобрений (вариант 6).

В полевом (деляночном) опыте с ячменем на незагрязненной почве (вариант 1) получена экологически безопасная сельскохозяйственная продукция (табл. 6).

Изучив распределение металлов по вегетативным органам ячменя можно проследить следующую закономерность: около 3% Pb, Cd и Cu аккумулируются в основной продукции, в соломе около 20% Pb и Cu, а Cd – 7,8%, корни накапливают основную массу этих элементов от 73,6 до 89,2.

Содержание Zn распределялось несколько по иному. Значительная его часть 24,7% концентрировалась в зерне, 61,2% аккумулировалась в корнях, а 14,1% было накоплено в соломе. Загрязненная почва без внесения удобрений способствовала повышенному накоплению Pb, Cd и Zn в растениях и только по Cu зерно не загрязнено.

Внесенные удобрения оказывают в основном положительное влияние, но не всегда продукция становится экологически безопасной. Так содержание Pb в зерне ячменя не превышает ПДК (0,5 мг/кг), за исключением варианта 4. Большая часть Pb остается в корнях – 77,1-97,0%. Незначительная часть Cu под влиянием разных систем удобрений

аккумулируется в зерне: от 2,0 мг/кг до 4,3 мг/кг (от 98,8 до 97,3%). Cd и Zn под влиянием удобрений снижаются в зерне, но содержание их выше ПДК.

Таблица 6. Распределение ТМ в ячмене. Полевой (деляночный) опыт.

| Варианты | Часть растения | Pb | | Cd | | Zn | | Cu | |
|-------------------|----------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|-------|-------------|
| | | мг/кг | % от сум-мы |
| 1. Исходная почва | зерно | 0,4 | 3,1 | 0,05 | 3,0 | 27,7 | 24,7 | 1,1 | 3,3 |
| | солома | 3,0 | 23,3 | 0,13 | 7,8 | 15,8 | 14,1 | 6,0 | 18,6 |
| | корни | 9,5 | 73,6 | 1,48 | 89,2 | 68,8 | 61,2 | 23,3 | 78,1 |
| 2. Без удобрений | зерно | 1,1 | 3,0 | 0,38 | 9,9 | 83,7 | 6,2 | 6,9 | 1,9 |
| | солома | 5,7 | 15,5 | 0,21 | 5,5 | 218 | 17,8 | 20,7 | 5,7 |
| | корни | 30 | 81,5 | 3,26 | 84,7 | 922 | 75,4 | 333 | 92,4 |
| 3. Н40+ N1P1K1 | зерно | 0,5 | 0,3 | 0,26 | 12,8 | 83,0 | 9,1 | 3,6 | 2,7 |
| | солома | 7,4 | 4,1 | 0,21 | 10,3 | 228 | 25,1 | 32,8 | 24,6 |
| | корни | 17 | 95,6 | 1,56 | 76,9 | 597 | 65,8 | 97,2 | 72,7 |
| 4. Н40+ N1P2K1 | зерно | 1,2 | 0,9 | 0,37 | 11,3 | 91,1 | 11,1 | 4,3 | 1,9 |
| | солома | 17,7 | 13,6 | 0,42 | 12,9 | 195 | 23,8 | 29,4 | 13,2 |
| | корни | 111 | 85,5 | 2,47 | 75,8 | 534 | 65,1 | 189 | 84,9 |
| 5. Н40+ N1P4K1 | зерно | 0,5 | 0,6 | 0,12 | 5,2 | 104 | 12,7 | 2,0 | 1,2 |
| | солома | 18,5 | 22,3 | 0,39 | 13,9 | 214 | 26,2 | 46,4 | 26,9 |
| | корни | 64 | 77,1 | 2,29 | 81,9 | 500 | 61,1 | 124 | 71,9 |
| 6. Н80 | зерно | 0,5 | 0,4 | 0,29 | 10,4 | 77 | 9,2 | 3,4 | 1,3 |
| | солома | 3,3 | 2,6 | 0,28 | 10,0 | 240 | 28,7 | 28,7 | 11,0 |
| | корни | 124 | 97 | 2,23 | 79,3 | 518 | 62,1 | 229 | 87,7 |
| 7. N1P8K1 | зерно | 0,3 | 0,6 | 0,12 | 1,5 | 64 | 11,8 | 3,3 | 2,6 |
| | солома | 5,1 | 10,6 | 0,17 | 2,1 | 161 | 29,7 | 19,5 | 15,5 |
| | корни | 426 | 88,8 | 7,68 | 96,4 | 317 | 58,5 | 103 | 81,9 |

В проведенных исследованиях дерново-подзолистые почвы опытов различаются по степени кислотности. Лизиметрический опыт проводился на известкованной почве с рН около 6, полевой (деляночный) – рН 4,3-4,6.

Из таблиц 5 и 6 наглядно видно, что почвы с близкой к нейтральной реакцией почвенного раствора (рН 6) более прочно удерживают ТМ в почвенном слое, что значительно влияет на уменьшение их выноса сельскохозяйственными культурами по сравнению с неизвесткованной почвой.

Получение экологически безопасной продукции на загрязненных тяжелыми металлами почвах можно добиться при применении систем удобрений. Наиболее эффективными, как показали наши исследования, являются органо-минеральная система с повышенным внесением фосфора (P_{240}) и органическая система с высокой дозой навоза (80 т/га).

В пятой главе «Балансовый анализ содержания тяжелых металлов в загрязненных агроценозах» на основе результатов опытов выяснено, что содержание мобильных форм ТМ резко возрастает в зависимости от уровня загрязнения почвы. Содержание подвижных форм при $Z_c=60,6$ и $Z_c=188,0$ увеличивается в 16 и 75 раз по сравнению с исходной почвой. В тоже время степень подвижности повышается незначительно. Так, если на исходной почве степень подвижности составила для Pb – 19,2%, Cd – 71,4%, Zn – 19%, Cu – 9,6%, то на вариантах с разными уровнями загрязнения она колебалась для Pb 11,3-25,5%, Cd 63,5-76,4%, Zn 43,2-59,9%, Cu 21,0-25,1%. При этом следует заметить, что Pb и Cd не изменили своей подвижности. Более агрессивно ведут себя Zn и Cu. Загрязнение почвы повысило степень подвижности этих элементов более чем в два раза.

Таким образом, разные системы удобрений, улучшая условия роста и развития растений в севообороте, неоднозначно изменяли количество мобильных форм тяжелых металлов. Так, подвижность свинца уменьшилась под влиянием высокой нормы навоза и фосфора. Кадмий снижал свою активность под влиянием всех систем удобрений. Цинк и медь наоборот, увеличивали подвижность под влиянием всех изучаемых систем удобрений.

Баланс тяжелых металлов в модельных опытах показал, что после трех лет выращивания сельскохозяйственных культур загрязнение по всем вариантам снизилось на незначительную величину 0,2-1,4%. Поэтому, выращивая сельскохозяйственные культуры на таких территориях, следует не только применять химические и биологические мелиоранты, но и постоянно контролировать качество продукции, не допуская ее применения при загрязнении на пищевые и кормовые цели.

В шестой главе «**Эколого-экономическая эффективность применения различных приемов реабилитации загрязненных тяжелыми металлами почвах**» представлен расчет социально-экологической и экономической эффективности изучаемых систем удобрений на загрязненных почвах и выполнена эколого-экономическая оценка предотвращенного экологического ущерба.

Расчет социально-экологической эффективности приемов реабилитации техногенно загрязненных почв ТМ в звене севооборота выполнен в соответствии с «Методическими рекомендациями по оценке эффективности инвестиционных проектов мелиорации сельскохозяйственных земель РД-АПК 3.00.01.003-03». Он показал, что исследуемые системы удобрений, на которых удалось добиться получения нормативно чистой продукции, имеют положительное сальдо денежного потока, но эффективность применения органо-минеральной системы удобрений наиболее выгодна по сравнению с органической системой, разница составляет 26,7 тыс. рублей на 1 гектар или 31%.

Предложенный комплекс приемов реабилитации загрязненных ТМ почв направлен, главным образом, на ликвидацию техногенного загрязнения, что и было учтено при определении общей величины предотвращенного ущерба. В данном случае общая величина предотвращенного ущерба от ухудшения и разрушения почв и земель определялась величиной предотвращенного ущерба от загрязнения почв химическими веществами.

Эколого-экономическая оценка предотвращенного экологического ущерба при проведении комплекса приемов по реабилитации дерново-подзолистых супесчаных почв выполнена в соответствии с «Временной методикой определения предотвращенного экологического ущерба, 1999». Величина предотвращенного ущерба от загрязнения почв ТМ, в результате применения разработанных приемов реабилитации, составила 340,5 тыс. рублей на 1 гектар.

Выводы

1. Анализ выполненных ранее исследований, теоретических обоснований и оценка состояния агроэкосистем Рязанской области показали, что основным источником загрязнения почв ТМ является атмосферный перенос из промышленно развитых районов. При этом происходит ухудшение санитарно-гигиенических характеристик сельскохозяйственной продукции, увеличение поступления ТМ во внутрипочвенные потоки, что в целом приводит к ухудшению экологической обстановки территории.

2. Опытным путем установлено, что загрязнение дерново-подзолистой почвы ТМ изменяет ее агрохимические показатели. В результате их влияния на нитрификацию уменьшается содержание нитратного азота. Известкование, с применением химических и биологических мелиорантов, способствовало улучшению агрохимических показателей. Так, произошло повышение органического вещества на 0,06-0,54%, подвижного фосфора и калия соответственно на 5,7-11,5 и 2,9-7,4 мг/100 г. При этом на загрязненных почвах с рН 4,4-4,7 поступление ТМ в ячмень (зерно) на 10,1-61,8% больше, чем с рН 6,0.

3. Выявлено, что при увеличении загрязнения почвы повышается содержание металлов, как в основной, так и в побочной продукции. Внесение удобрений на фоне известкования почвы уменьшает накопление металлов в основной (зерно) продукции на 2,9-27,2%, но в тоже время увеличивается их аккумуляция в корневой системе на 8,8-35,3%.

4. Исследования на загрязненной дерново-подзолистой почве показали, что вследствие физиологических нарушений, происходящих в растениях под действием избытка в почве ТМ урожайность сельскохозяйственных культур снижается. Снижение урожая картофеля в зависимости от уровня загрязнения происходит на 18-37%. Техногенная нагрузка на агроландшафт снижает продуктивность в звене севооборота «картофель–овес–клевер» на 20,0-90,3 ц/га кормовых единиц или на 13,2-59,7%.

5. Экологически чистую продукцию, на повышенно загрязненной дерново-подзолистой почве, можно получить при применении систем

удобрений в составе комплексных приемов реабилитации почв. Наиболее эффективными являются органно-минеральная система с повышенным внесением фосфора (P_{240}) и органическая система с высокой дозой навоза (80 т/га). Применение органно-минеральной системы удобрений в звене севооборота, повышает продуктивность дерново-подзолистой супесчаной слабокультуренной почвы на 88-203%. Органические удобрения увеличивают урожайность на 119%, а одни минеральные на 104%.

6. Выполненная эколого-экономическая оценка применения различных систем удобрений на загрязненных тяжелыми металлами почвах, показала, что применение органно-минеральной системы удобрений наиболее выгодно по сравнению с органической системой, разница составляет 26,7 тыс. рублей на 1 гектар или 31%. Величина предотвращенного ущерба от загрязнения земель химическими веществами составила 340,5 тыс. рублей на 1 гектар.

Предложения производству

Дерново-подзолистые супесчаные почвы при их невысоком почвенно-поглощающем комплексе экологически более уязвимы, поэтому на таких почвах следует применять научно обоснованную систему удобрений, в составе комплексных приемов реабилитации, которая обеспечит сельскохозяйственные культуры полевого севооборота питательными элементами, при гарантии получения нормативно чистой продукции. Это достигается за счет агрохимического окультуривания после уборки парозанимаемой культуры в объемах обоснованных в данной работе: навоз под основную глубокую обработку, известь под культивацию, оптимальные дозы минеральных удобрений под культуру с учетом плодородия. Фосфорные удобрения возможно вносить периодически один раз на 3-4 года.

Накопление тяжелых металлов в основном в растениях происходит в следующем порядке: корень > стебель > лист > семена, при этом на загрязненных участках следует выращивать сельскохозяйственные культуры, учитывая вегетативный орган, используемый на пищевые цели. При этом необходимо проводить постоянный санитарно-гигиенический контроль.

Список опубликованных работ по теме диссертации:

1. Гусева Т.М., Желязко В.И., Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Матюхин Р.И. Оценка загрязнения тяжелыми металлами грунтовых вод культурного ландшафта// *Материалы международной конференции: «Экологические проблемы мелиорации»*. Изд-во ВНИИГиМ. Москва, 2002. С. 209-211.

2. Гусева Т.М., Мажайский Ю.А., Игнатенко В.А., Евтюхин В.Ф., Матюхин Р.И. Экологические особенности систем водопользования в гумидной зоне// *«Актуальные проблемы экологии и сельскохозяйственного производства на современном этапе»*. Сборник научных трудов. – Рязань: РГСХА, 2002. С. 37-39.

3. Бочкарев Я.В., Мажайский Ю.А., 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. – Рязань: РГСХА, 2002. С. 66-72.

4. Мажайский Ю.А., Гусева Т.М., Евтюхин В.Ф., Игнатенко В.А., Матюхин Р.И. Экологические особенности систем водопользования в гумидной зоне// *«Актуальные проблемы экологии и сельскохозяйственного производства на современном этапе»*. Сборник научных трудов. – Рязань: РГСХА, 2002. С. 37-39.

5. 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. – Рязань: РГСХА, 2003. С. 101-103.

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

7. Ильинский А.В., Матюхин Р.И. Оценка токсичности тяжелых металлов на ранней стадии онтогенеза овса// *«Экологическое состояние природной среды и научно-практические аспекты современных мелиоративных технологий»*. Сборник научных трудов – Рязань: МФ ГНУ ВНИИГиМ, 2004. С. 451-454.

8. Мажайский Ю.А., Евтюхин В.Ф., Гусева Т.М., Матюхин Р.И. 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»*. Монография под общ. ред. Ю.А. Мажайского, А.П. Лихацевича. – Рязань: РГСХА, 2005. – С. 120-164.

Матюхин Роман Игоревич

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ КОМПЛЕКСНЫХ ПРИЕМОВ
РЕАБИЛИТАЦИИ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТЫХ ПОЧВ ЗАГРЯЗНЕННЫХ
ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ (на примере левобережья р. Оки).**

Проведено агроэкологическое и экономическое обоснование комплексных приемов реабилитации дерново-подзолистых почв загрязненных тяжелыми металлами, на основании выявленных критериальных закономерностей их накопления, миграции и аккумуляции в системе «источник загрязнения – почва – вода – растение». Изучены продуктивные особенности различных сельскохозяйственных культур в зависимости от степени загрязнения дерново-подзолистой почвы тяжелыми металлами. Выявлены закономерности поглощения тяжелых металлов сельскохозяйственными культурами на дерново-подзолистых почвах. Разработаны комплексные приемы реабилитации загрязненных тяжелыми металлами дерново-подзолистых почв. Дана эколого-экономическая оценка комплексных приемов реабилитации загрязненных тяжелыми металлами дерново-подзолистых почв для их эффективного использования в практике сельскохозяйственного производства.

Matjuhin Roman Igorevich

**ECOLOGICAL SUBSTANTIATION of COMPLEX RECEPTIONS of
REHABILITATION PODSOLIC GROUND POLLUTED with HEAVY
METALS (by the example of a left bank of the river of Oka).**

The ecological and economic substantiation of complex receptions of rehabilitation turfen podsolc ground polluted is lead by heavy metals, on the basis of the revealed laws of their accumulation, migration and accumulation in system «a source of pollution - ground - water - a plant». Productive features of various agricultural crops are investigated depending on a degree of pollution of podsolc ground by heavy metals. Laws of absorption of heavy metals by agricultural crops on podsolc ground are revealed. Complex receptions of rehabilitation polluted by heavy metals podsolc ground are developed. The ecological and economic estimation of complex receptions of rehabilitation polluted by heavy metals podsolc ground for their effective utilization in practice of an agricultural production is given.

№ - 97 18

РНБ Русский фонд

2006-4

6627