

Ильинский Андрей Валерьевич

**ОЧИСТКА И ДЕТОКСИКАЦИЯ ОПОДЗОЛЕННЫХ И ВЫЩЕЛОЧЕННЫХ  
ЧЕРНОЗЕМОВ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ  
(на примере Рязанской области)**

06.01.02 - «Мелиорация, рекультивация и охрана земель»

03.00.16 - «Экология»

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата сельскохозяйственных наук

МОСКВА – 2003

Работа выполнена в отделе природоохранных технологий Всероссийского  
научно-исследовательского института гидротехники и мелиорации  
им. А.Н. Костякова (ВНИИГиМ)

- Научный руководитель: доктор технических наук, профессор  
**Кирейчева Л.В.**
- Научный консультант: доктор сельскохозяйственных наук  
**Мажайский Ю.А.**
- Официальные оппоненты: доктор сельскохозяйственных наук, профессор  
**Мерзлая Г.Е.**  
кандидат биологических наук, доцент  
**Головатый В.Г.**
- Ведущая организация: **Рязанский научно-исследовательский и  
проектно-технологический институт АПК  
(НИПТИ АПК)**

Защита состоится «4» декабря 2003 года в 10 часов на заседании диссертаци-  
онного совета Д 006.038.01 во Всероссийском научно-исследовательском институте  
гидротехники и мелиорации им. А.Н. Костякова по адресу: 127550, Москва, Б. Ака-  
демическая, 44.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ГНУ ВНИИГиМ.

Автореферат разослан «3» ноября 2003 года.

Ученый секретарь диссертационного совета,  
кандидат технических наук



Ворожцова Е.Л.

2003-А

18313

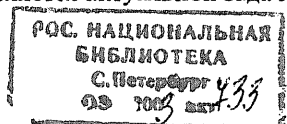
3

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность проблемы.** Использование природно-ресурсного потенциала неуклонно расширяется по мере роста производительных сил, что усиливает антропогенное воздействие на природные объекты. Почва как важнейший биогеохимический барьер и основная жизнеобеспечивающая сфера в наибольшей степени испытывает негативные воздействия, обусловленные многообразной производственной деятельностью человека. Она активно аккумулирует продукты техногенеза, в том числе тяжелые металлы (ТМ). По данным агрохимического обследования земель Российской Федерации в 1999 году выявлено 1,1 млн. га земель сельскохозяйственного назначения, загрязненных ТМ, на которых уже сегодня необходимо проводить специальные мероприятия, предотвращающие загрязнение растительной продукции токсическими элементами. Среди тяжелых металлов приоритетными загрязнителями являются Hg, Pb, As, Cd, Zn, Cu, Cr, Ni, которые поступают по трофической цепи в организм человека и сельскохозяйственных животных в основном с растительной пищей, воздухом и водой.

Особенно остро эти явления обнаруживаются в зоне распространения оподзоленных и выщелоченных черноземов Рязанской области, характеризующейся развитым сельским хозяйством и интенсивным техногенным воздействием на окружающую среду. По данным Главного управления природных ресурсов по Рязанской области в почвах районов, подвергающихся воздействию промышленных выбросов, количество ТМ (Cu, Pb, Cd, Zn и др.) значительно превышает фоновый уровень, и насыщение этими элементами на отдельных площадях уже сегодня достигло критического значения.

Разработка методов снижения техногенного загрязнения таких земель и их рационального использования позволит улучшить эколого-мелиоративную ситуацию в регионе, обеспечит экологически благоприятные условия для выращивания сельскохозяйственной продукции и является актуальной задачей.



**Цель и задачи исследований.** Цель настоящей работы заключается в разработке экологически безопасных способов очистки и детоксикации черноземов, загрязненных тяжелыми металлами, при их сельскохозяйственном использовании. Поставленная цель определила необходимость решения следующих задач:

- охарактеризовать источники и пути поступления ТМ в почву в условиях техногенного загрязнения агроландшафтов;
- дать агроэкологическую оценку пахотных почв при создавшихся условиях загрязнения ТМ;
- проанализировать современные физические, химические и биологические методы очистки и детоксикации почв, загрязненных ТМ;
- выявить закономерности и особенности поглощения ТМ сельскохозяйственными культурами;
- изучить влияние степени загрязнения черноземов ТМ на урожайность и качество выращиваемой сельскохозяйственной продукции;
- осуществить подбор культур - мелиорантов для биологической очистки оподзоленных и выщелоченных черноземов;
- исследовать процессы детоксикации почв с использованием сорбент-мелиорантов.

**Методика проведения исследований.** В качестве основного методологического принципа при проведении мероприятий по снижению техногенного загрязнения земель принималась комплексность, предполагающая рассмотрение основных факторов, влияющих на функционирование агроландшафтов. Исследования базировались на анализе литературы и фондовых материалов, включали теоретические разработки, лабораторные и полевые опыты с использованием апробированных методик. Натурные исследования выполнялись на стационаре МФ ГНУ ВНИИГиМ и на землях мелиоративной системы «Мескино» АОЗТ «Малинищи» Пронского района Рязанской области. Обработка результатов исследований осуществлялась с использованием методов математической статистики.

**Научная новизна и положения, выносимые на защиту:**

- особенности и закономерности поглощения тяжелых металлов сельскохозяйственными растениями в зависимости от степени загрязнения почвы и сочетания ТМ;
- эмпирические зависимости влияния суммарного загрязнения почв ТМ на урожайность и качество гречихи, черных бобов;
- рекомендации по подбору культур-фитомелиорантов для биологической очистки оподзоленных и выщелоченных черноземов, загрязненных ТМ;
- рекомендации по выбору мелиорантов для снижения перехода ТМ в растительную продукцию;
- экологически безопасный комплекс мелиоративных и агротехнических мероприятий по улучшению агроценоза, включающий биологическую очистку культурами-фитомелиорантами, химическую детоксикацию черноземов с использованием новых сорбент-мелиорантов и нормированное использование минеральных удобрений.

**Практическая ценность.** Практическая значимость работы заключается в разработке рекомендаций по снижению поступления ТМ из почвы в сельскохозяйственные растения за счет детоксикации и очистки почв, которые могут быть использованы конкретными хозяйствами при производстве сельскохозяйственной продукции. Результаты исследований использовались при составлении Методических указаний по очистке и детоксикации почв, загрязненных тяжелыми металлами, и рекомендаций по ликвидации техногенного загрязнения агроландшафтов (2003), разработанных в ГНУ ВНИИГиМ; Рекомендаций по проведению эколого-мелиоративных мероприятий рекультивации техногенно загрязненных и деградированных культурных ландшафтов (2002), разработанных в МФ ГНУ ВНИИГиМ, а также при составлении ежегодных научных отчетов МФ ГНУ ВНИИГиМ по программе РАСХН заданию 12.03.01. «Разработать совокупность принципов, методов, средств и форм управления режимами комплексных мелиораций земель для различных природных комплексов».

Рекомендации по рекультивации техногенно загрязненных земель используются управлением «Рязаньмелиоводхоз» при планировании и проведении проектных и эксплуатационных работ. На основании результатов исследований для АОЗТ «Малинищи» Пронского района Рязанской области были подготовлены и переданы рекомендации по ликвидации техногенного загрязнения деградированных почв, что позволило обеспечить благоприятные экологические условия для выращивания сельскохозяйственной продукции и повысить урожайность однолетних трав на 34%.

**Апробация работы.** Материалы исследований обсуждались на секциях Ученого Совета ГНУ ВНИИГиМ (2001-2003). Основные результаты работы доложены на Международных, Всероссийских, Межрегиональных научных конференциях. Основные из них: Международная научная конференция «Экологические проблемы мелиорации» (Москва, 2002 г.); Международная научная конференция «Эволюция и деградация почвенного покрова» (Ставрополь, 2001-2002 г.); Международная научно-практическая конференция «Современные проблемы использования почв и повышения эффективности удобрений» (Белалусь, Горки, 2001, 2003 г.); Международная научно-практическая конференция «Человек и окружающая природная среда» (Пенза, 2000 г.); Всероссийская конференция «Устойчивость почв к естественным и антропогенным воздействиям» (Москва, 2002 г.); Всероссийская научно-практическая конференция «Управление рисками чрезвычайных ситуаций» (Москва, 2001 г.); Республиканская научная конференция «Человек и окружающая среда» (Рязань, 1998-2000 г.); Межрегиональная научно-практическая конференция «Социально-гигиенический мониторинг здоровья населения» (Рязань, 2001).

**Публикации.** Основные положения диссертационной работы опубликованы в 20 печатных работах.

**Объем и структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, 4 глав, выводов и предложений производству, изложена на 173 страницах машинописного текста, иллюстрирована 15 рисунками, содержит 71 таблицу и 19 приложений. Библиографический список включает 186 наименований.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении показана актуальность проблемы, сформулированы цель и задачи исследований, изложены методология и методика проведения исследований, сформулированы научная новизна и положения, выносимые на защиту.

В первой главе «Проблема загрязнения почв тяжелыми металлами в условиях техногенеза и основные направления по их реабилитации» 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 заводы, карьеры и шахты по добыче полиметаллических руд, транспорт и др. Загрязненная атмосфера является главным источником поступления ТМ в почву. В процессе сельскохозяйственной деятельности с минеральными удобрениями в почву поступает 0,3-2,7% ТМ от суммарного объема; с осадками сточных вод – 37,2 – 88,5%; с органическими удобрениями - от 5,6 до 35,4%; с известковыми материалами – от 1,9 до 26,4%. Площади загрязнения почв Российской Федерации по различным химическим элементам располагаются в следующем порядке (% от обследованных):  $Cu(3,79) > Ni(2,84) > Zn(1,92) = Co(1,92) > Pb(1,66) > Cd(0,62)$ . По регионам России этот ряд существенно изменяется в зависимости от видов техногенного загрязнения. Следствием снижения почвенного плодородия в результате загрязнения ТМ является снижение продуктивности как естественных, так и агрокультурных ландшафтов, что существенным образом влияет на объем и качество продовольственных ресурсов. Сельскохозяйственная продукция, выращенная на загрязненных почвах, часто оказывается токсичной из-за повышенного содержания ТМ.

На основе анализа литературы (Добровольский Г.В., Никитин Е.Д., Перельман А.И., Овчаренко М.М., Моисеев Н.Н., Орлов Д.С., Голованов А.И., Черников В.А., Соколов О.А. и др.) раскрыта экологическая роль почвы в условиях возрастающей техногенной нагрузки. Проанализированы приемы санации сельскохозяйственных земель, загрязненных ТМ. Существующие в настоящее

время методы очистки и детоксикации не всегда достаточно эффективны, что требует проведения исследований и разработки новых технологий. Особенности почвообразования, свойства почв, вариабельность сочетаний загрязнителей – токсикантов определяют научный подход к решению проблемы для условий Рязанской области по разработке мелиоративных и агротехнических приемов очистки и детоксикации почв, а также получения экологически чистой продукции растениеводства.

**Во второй главе «Экологическое состояние черноземов Рязанской области в условиях техногенеза»** приведено обоснование выбора объекта исследований и дана его характеристика. Объектом исследований являются оподзоленные и выщелоченные черноземы Рязанской области, которые в результате техногенной нагрузки на агроландшафт активно аккумулируют тяжелые металлы, что приводит к загрязнению и химической деградациии почвенного покрова. Выщелоченные и оподзоленные черноземы являются наиболее плодородными почвами Рязанской области, они широко распространены в ее южной и центральной частях среди темно-серых лесных почв, занимают 800 тыс. га пашни. Черноземы, по сравнению с другими почвами, характеризуются более высоким естественным плодородием. Содержание гумуса колеблется от 4 до 7%, реакция почвенного раствора (РН) варьирует от 4,5 – 6,0, степень насыщенности основаниями 85 – 90%, сумма обменных оснований 46 – 50 мг-экв/100 г, емкость поглощения катионов 20 – 50 мг-экв/100 г, частицы менее 0,01 мм составляют 39 %. За последнее время отмечено значительное подкисление пахотного слоя черноземов и снижение их почвенного плодородия. Около 30 – 35% площади пахотных почв имеют низкое содержание подвижного фосфора и 35 – 40% значительно обеднены обменным калием.

По данным Главного управления природных ресурсов по Рязанской области и Мещерского филиала ГНУ ВНИИГиМ в процессе почвообразования, а также в результате техногенной нагрузки в корнеобитаемом слое произошла аккумуляция ТМ. К приоритетным загрязнителям черноземов относятся Cu, Pb, Zn, а также Cd.



Для обоснования возможных направлений санации почв автором предложена концептуальная модель миграции и трансформации ТМ в агрогеоценозе (рис. 1), на основе которой разработана функциональная схема санации почв, загрязненных тяжелыми металлами (рис. 2). В зависимости от степени загрязнения почв ТМ назначаются приемы санации, что позволяет поэтапно переводить почву в более низкую категорию загрязнения. Они сводятся к следующим: очистка почв путем промывок → детоксикация → биологическая мелиорация с использованием культур-фитомелиорантов → агрохимические приемы иммобилизации ТМ. В диссертации автором исследовалось два крупных направления: биологическая очистка почв с использованием культур-мелиорантов и химическая детоксикация с применением сорбент-мелиорантов.

В работе проанализированы экологические критерии оценки загрязнения почв ТМ и выбраны следующие: для оценки степени загрязнения почв по отдельным металлам использованы ориентировочно допустимые концентрации (ОДК) и фоновое содержание тяжелых металлов в почве. Для комплексной оценки – суммарный показатель загрязнения, определяемый по следующей зависимости:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_{ci} - (n - 1) \quad (1)$$

где:  $n$  – число определяемых элементов;  $K_{ci}$  - коэффициент концентрации металла (отношение металла в почве к его фоновому содержанию).

В третьей главе «Биологическая очистка почв с использованием культур фитомелиорантов» представлены исследования по изучению способности аккумуляции ТМ сельскохозяйственными культурами и подбору фитомелиорантов для биологической очистки почв. По литературным данным установлено, что наиболее толерантными сельскохозяйственными культурами, способными накапливать в фитомассе высокие концентрации Cu, Zn, Pb, Cd, являются: овес, гречиха, свекла, бобовые и др.

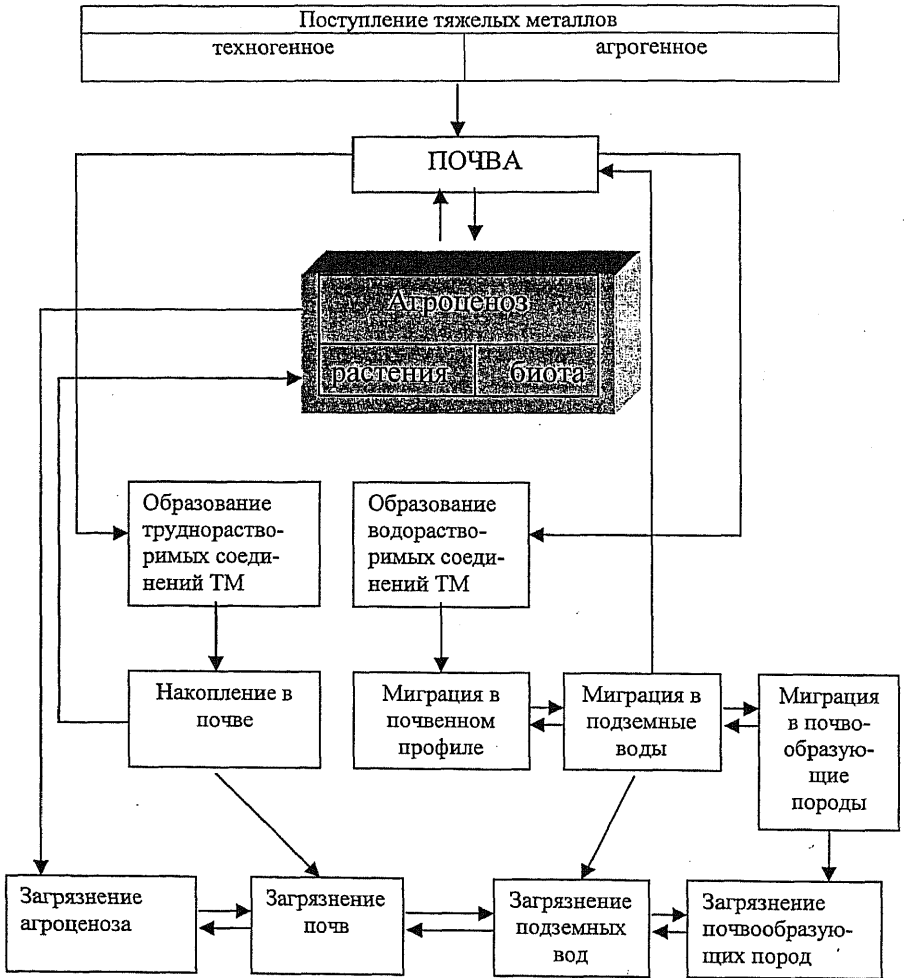


Рис. 1. Концептуальная модель миграции и трансформации ТМ в агроценозе



Рис. 2. Схема санации почв, загрязненных тяжелыми металлами

На первом этапе в качестве биотеста для оценки фитотоксичности почвы был выбран овес. Лабораторные исследования на проростках показали, что да-

же высокие дозы (10 ОДК и более) Cu, Zn, Pb, Cd не привели к гибели растений, что связано с наличием большого количества питательных соединений в семенах и, прежде всего, сахаров.

С целью установления закономерностей перехода ТМ из почвы в растения в зависимости от суммарного загрязнения почв были проведены исследования в вегетационных сосудах с культурами-фитомелиорантами (гречихой и черными бобами) на оподзоленном черноземе:  $\text{PH}_{\text{KCl}}$  - 5,1; содержание гумуса 5,7 %;  $\text{P}_2\text{O}_5$  23,5 мг/100 г;  $\text{K}_2\text{O}$  19,2 мг/100 г. Было смоделировано 4 категории загрязнения почвы (от допустимой до чрезвычайно опасной), которые обосновывались по суммарному показателю загрязнения.

В процессе исследований автором было установлено, что бобовые культуры более толерантны к действию ТМ, чем гречиха, так как они могут получать питательные элементы за счет клубеньковых бактерий, которые усваивают азот из воздуха. Эмпирические зависимости изменения фитомассы гречихи и бобов (Y) от суммарного показателя загрязнения почвы (x) в интервале 1,64 – 146,04 имеют следующий вид:

для гречихи:

$$Y = -0,0002x^2 - 0,0098x + 13,622 \quad (2)$$

для бобов:

$$Y = -0,0011x^2 + 0,1219x + 18,051 \quad (3)$$

где: Y – фитомасса гречихи и бобов (г/сосуд, сухого в-ва), x – значение суммарного показателя загрязнения почвы ТМ (коэффициенты корреляции данных зависимостей для гречихи  $r = -0,96$ , для бобов  $r = -0,69$ ) при величине достоверности аппроксимации ( $R^2$ ) гречихи 0,96, бобов 0,82.

В фитомассе указанных культур было определено содержание Cu, Zn, Pb, Cd. Увеличение содержания металлов в фитомассе гречихи и бобов по сравнению с контролем ( $C_x/C_k$ ) представлено на рис. 3 и 4. Полученные данные о накоплении токсикантов в фитомассе растений позволяют сделать вывод о том, что гречиха интенсивнее, чем бобы аккумулирует свинец и кадмий, а бобы, в свою очередь, интенсивнее, чем гречиха аккумулируют медь и цинк.

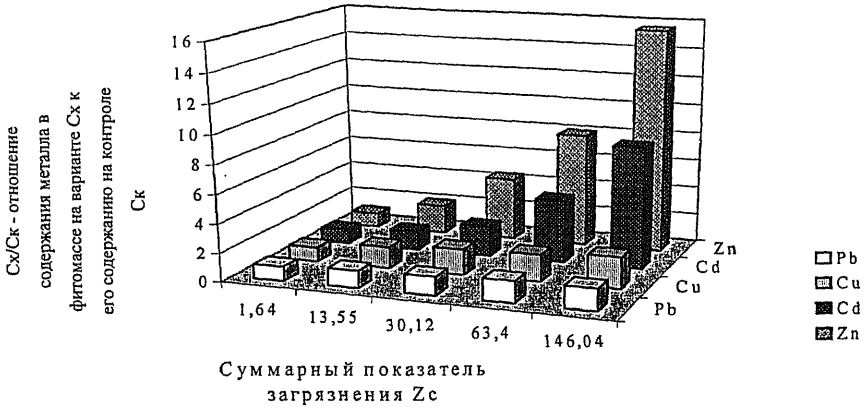


Рис 3. Увеличение содержания ТМ в фитомассе гречихи

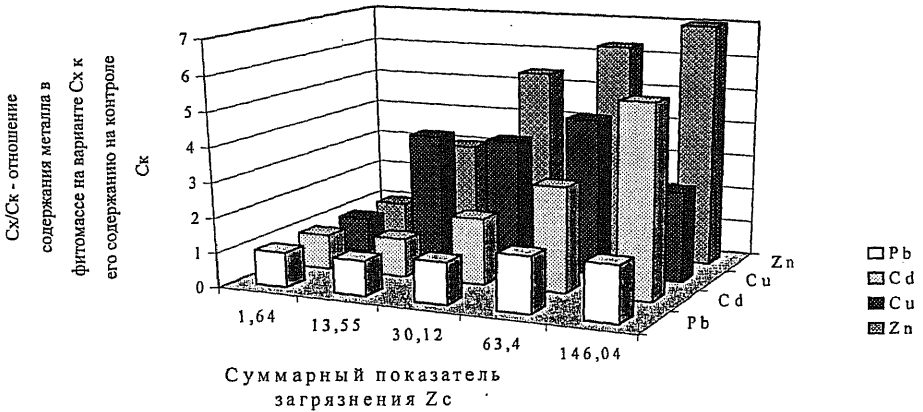


Рис. 4. Увеличение содержания ТМ в фитомассе бобов

Эмпирические зависимости содержания ТМ в фитомассе растений (Y) от суммарного показателя загрязнения (x) в интервале 1,64 – 146,04 имеют следующий вид:

для гречихи

$$\text{медь: } Y = -0,0004x^2 + 0,0875x + 4,6872;$$

(4)

$$\text{цинк: } Y = - 0,004x^2 + 3,1016x + 15,496; \quad (5)$$

$$\text{свинец: } Y = - 0,0001x^2 + 0,0237x + 2,1382; \quad (6)$$

$$\text{кадмий: } Y = - 5E-06x^2 + 0,015x + 0,1878. \quad (7)$$

для бобов

$$\text{медь: } Y = - 0,0019x^2 + 0,303x + 5,949; \quad (8)$$

$$\text{цинк: } Y = - 0,022x^2 + 4,6236x + 44,877; \quad (9)$$

$$\text{свинец: } Y = - 0,0001x^2 + 0,0235x + 1,6239; \quad (10)$$

$$\text{кадмий: } Y = - 4E-06x^2 + 0,0072x + 0,1645. \quad (11)$$

где:  $Y$  – концентрация металла в фитомассе гречихи и бобов (мг/кг, сух. в-ва),  $x$  – значение суммарного показателя загрязнения почвы (коэффициенты корреляции данных зависимостей ( $r$ ) для гречихи: +0,87; +0,99; +0,80; +0,99, для бобов: +0,11; +0,81; +0,86; +0,99) при величине достоверности аппроксимации ( $R^2$ ) для гречихи 0,93; 0,99; 0,99; 0,99, для бобов 0,80; 0,95; 0,94; 0,99 соответственно.

Исследованиями установлено, что вынос ТМ фитомелиорантами при умеренно опасной степени загрязнения почвы составил для гречихи: Cu - 27200 мг/га, Zn - 396600 мг/га, Pb - 10200 мг/га, Cd - 2050 мг/га, для бобов: Cu - 85200 мг/га, Zn - 1240700 мг/га, Pb - 13600 мг/га, Cd - 2430 мг/га, при этом в фитомассе наблюдается превышение ПДК<sub>корм.</sub> по Zn и Cd. Вынос бобами Cu, Zn, Pb заметно выше, чем гречихой, что необходимо учитывать в выборе культуры-фитомелиоранта для биологической очистки почвы.

С целью оценки влияния минеральных удобрений на вынос ТМ из почвы растениеводческой продукцией были проведены исследования на лизиметрах, которые показали, что внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{60}P_{60}K_{60}$  снижает концентрацию Cu, Zn, Pb в фитомассе овса, что объясняется переводом ТМ в почву в трудно растворимые соединения (фосфаты). Кроме того, наблюдается антагонизм между Cu, Zn, с одной стороны, и фосфором - с другой, а также эффект биологического разбавления. На вариантах опыта концентрация Cu, Pb и Cd в зерне оставалась достаточно стабильной, что связано с физиолого-биохимическими защитными механизмами, которые препятствуют избыточному накоплению ТМ в генеративных органах растений. Внесение минераль-

ных удобрений снижает концентрацию Cu, Zn, Pb, Cd в корнеплодах кормовой свеклы, при этом ТМ неравномерно распределяются в органах растений: концентрация меди больше в корнеплодах, чем в ботве, а цинка, свинца и кадмия – наоборот. Наибольший вынос Cu, Zn, Cd наблюдается на варианте при внесении азота 90 кг д.в./га.

**Четвертая глава «Детоксикация почв, загрязненных тяжелыми металлами, с использованием сорбционных материалов»** посвящена изучению способности сорбент-мелиорантов снижать токсичность почвы, поглощать и связывать ТМ в недоступные для растений формы, препятствуя их вводу в биологический круговорот. В условиях деградации почвенного покрова применение сапропелей и мелиорантов на его основе (СОРБЭКС, удобрительно-мелиорирующие смеси и др.) может стать наиболее экологичным и эффективным способом восстановления плодородия, улучшения свойств почв и получения экологически безопасной сельскохозяйственной продукции.

Автором были проведены опыты на вегетационных сосудах и полевые исследования, в которых оценивалось влияние сорбент-мелиорантов: СОРБЭКС, сапропель, удобрительно-мелиорирующая смесь на основе карбонатного сапропеля и торфа (УМС) на поступление ТМ в растениеводческую продукцию и их вынос с фитомассой растений. При проведении опытов на вегетационных сосудах почва искусственно загрязнялась тяжелыми металлами путем добавления химически чистых водорастворимых солей меди, цинка, свинца и кадмия. В качестве тестовой культуры был выбран овес, поскольку он способен накапливать высокие концентрации поллютантов и получил широкое распространение в хозяйствах Рязанской области. В результате проведенных исследований было установлено:

- применение СОРБЭКСа из расчета  $3,3 \text{ кг/м}^2$  способствовало повышению фитомассы овса на всех вариантах опыта (от допустимой до чрезвычайно опасной степени загрязнения почвы) более чем в 2 раза (рис. 5) и позволило снизить концентрации ТМ в фитомассе овса: Cu – в 2,8; Zn – в 2,6; Pb – в 1,2 раза;

- наибольший прирост урожайности от использования СОРБЭКСа достигается при высоко опасной степени загрязнения почвы ТМ.

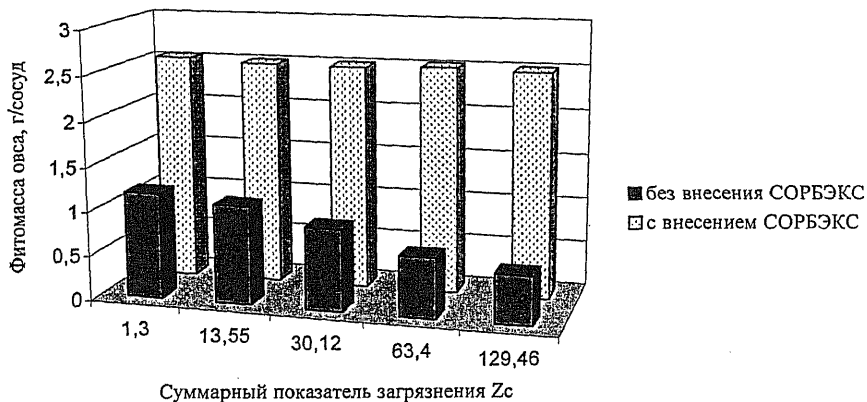


Рис. 5. Изменение урожайности фитомассы овса в опыте

Для оценки эффективности применения смесей на основе карбонатного сапропеля была проведена производственная проверка, цель которой заключалась в изучении их влияния на агрохимические свойства чернозема, урожайность и экологическое состояние растениеводческой продукции. Натурные исследования проводились на мелиоративном объекте «Мескино» АОЗТ «Малинищи» Пронского района Рязанской области в 2002-2003 г.г. Чернозем оподзоленный глинистый, мощность гумусового горизонта 50-60 см; содержание гумуса 5,8 %;  $\text{PH}_{\text{KCl}}$  - 5,1;  $\text{P}_2\text{O}_5$  12,5 мг/100 г;  $\text{K}_2\text{O}$  12,2 мг/100 г. Гранулометрический состав почвенного профиля преимущественно глинистый, глины легкие, по содержанию частиц <0,01 мм граничат с тяжелыми суглинками.

Одним из основных направлений хозяйства является кормопроизводство, в том числе выращивание однолетних трав на сено и зеленый корм. Анализ динамики урожайности кормовых культур в хозяйстве за 1998-2002 г.г. показал, что урожайность однолетних трав невысокая: зеленой массы 84 ц/га, сена - 19 ц/га.



Полевой опыт был заложен на делянках (площадь каждой 20 м<sup>2</sup>) совместно с В.М. Яшиным, О.Б. Хохловой на двух вариантах (сапрпель, УМС) в 5-ти кратной повторности. В качестве контроля принимался существующий агрофон в хозяйстве. Сапрпель вносили поверхностно на делянки из расчета 10 т/га (т.е. 1 кг/м<sup>2</sup>) при влажности вещества не выше 7% после выполнения необходимых агротехнических работ. Доза внесения сапрпеля составляла 1 кг/м<sup>2</sup>, что было обосновано расчетами и подтверждено ранее проведенными исследованиями (Нгуен Суан Хай, 2003). Учитывая, что в сапрпеле преобладают малоподвижные формы питательных элементов, нами была предпринята попытка его активизировать добавлением ЭМ-препарата, состоящего из комплекса почвенных микроорганизмов. Подкормку ЭМ-культурой проводили путем мульчирования почвы ЭМ-компостом, который вносили в бороздки из расчета 10 кг компоста на делянку (0,5 кг/м<sup>2</sup>) и засыпали почвой.

Внесение сапрпеля и УМС повлияло на агрохимические свойства почвы и содержание ТМ (табл.1 и 2). В почве восстановился баланс минеральных элементов, снизилась кислотность, увеличилась ЕКО почвы и сумма поглощенных оснований, повысилось содержание гумуса, что благоприятно сказалось на урожае и качестве растениеводческой продукции. При внесении сапрпеля и удобрительно-мелиорирующей смеси урожайность однолетних трав увеличилась на 29% и 34% соответственно (табл.3).

Таблица 1. Агрохимические свойства оподзоленного чернозема на опытном участке

Вариант	рН	Нг	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Гумус, %
		ммоль/100 г		мг/100 г почвы		
Контроль	5,1	7,41	30,0	12,5	12,2	5,8
Сапрпель	5,7	2,11	42,0	11,2	11,3	6,0
УМС	5,7	2,31	39,8	13,1	12,8	6,2
НСП <sub>05</sub>	0,21	0,35	2,0	1,1	2,1	0,2

Примечание: Нг - гидролитическая кислотность, S - сумма поглощенных оснований.

Таблица 2. Содержание тяжелых металлов в почве на вариантах опыта, мг/кг

Вариант	Cu	Zn	Pb	Cd
Контроль	4,58	23,45	28,12	1,50
Сапропель	5,70	20,58	20,62	0,82
УМС	14,38	19,72	25,00	1,00
ОДК	66	110	65	1
Региональный фон	27	35	12	0,18
НСР <sub>05</sub>	1,64	2,15	3,30	0,30

Таблица 3. Урожайность однолетних трав на вариантах опыта

Вариант	Вика + овес, зеленая масса, ц/га						Прибавка	
	Повторность						ц/га	% к контролю
	1	2	3	4	5	Среднее		
Контроль	400	410	420	410	430	410	-	-
Сапропель	490	500	530	580	560	530	120	29
УМС	560	530	540	550	560	550	140	34

НСР<sub>05</sub> = 20 ц/га

Применение сапропеля из расчета 1,0 кг/м<sup>2</sup> позволило снизить потребление ТМ фитомассой однолетних трав: Cu – на 12%; Pb – на 37%; Cd – на 34%, при использовании удобрительно-мелиорирующей смеси произошло снижение ТМ в фитомассе однолетних трав: Pb – на 6%; Cd – на 15%.

На основании проведенных лабораторных исследований и натурных опытов нами предложен комплекс мелиоративных мероприятий по очистке и детоксикации почв, загрязненных ТМ (рис. 6).

Степень загрязнения почв	Методы санации почвы	Приемы санации почвы
Чрезвычайно опасная ( $Z_c$ более 128)	Физическая очистка	1. Изъятие загрязненной почвы и внесение чистого грунта.
	Химическая очистка	1. Промывка почвы водой, минеральными кислотами, фульвокислотами, растворами комплексообразователей; 2. Промывной режим орошения; 3. Изменение рН почвенного раствора.



Высоко опасная ( $Z_c$ 32,1 - 128)	Физическая детоксикация	1. Агромелиоративные приемы: глубокая вспашка, рыхление и т.д.
	Химическая детоксикация	1. Внесение органических удобрений: торф, сапропель, навоз и т.д.; 2. Внесение сорбент-мелиорантов: СОРБ-ЭКС, карбонатный сапропель, удобрительно-мелиорирующая смесь; 3. Известкование почвы; 4. Внесение фосфорных удобрений.



Умеренно опасная ( $Z_c$ 16,1 - 32) или Допустимая ( $Z_c$ менее 16)	Физическая детоксикация	1. Агромелиоративные приемы: глубокая вспашка, рыхление и т.д.
	Химическая детоксикация	1. Внесение органических удобрений: торф, сапропель, навоз и т.д.; 2. Внесение сорбент-мелиорантов: СОРБ-ЭКС, карбонатный сапропель, удобрительно-мелиорирующая смесь; 3. Известкование почвы; 4. Внесение фосфорных удобрений.
	Биологическая очистка	1. Фитомелиорация; 2. Фитомелиоративные компоненты севооборота.
	Биологическая детоксикация	1. Внесение в почву микроорганизмов, переводящих ТМ в формы, недоступные для растений.

Рис. 6. Комплекс мероприятий по санации почв в зависимости от степени загрязнения тяжелыми металлами

Для почв с умеренно опасной степенью загрязнения рекомендуется в состав севооборота включать культуры-фитомелиоранты. Для оподзоленных и выщелоченных черноземов в качестве таких культур автором рекомендуется использовать бобовые культуры (не менее 30% насыщения севооборота). Данное мероприятие при существующем ежегодном поступлении Cu, Zn, Pb, Cd в количестве 357000 мг/га в год (Мажайский, 2002) позволит в составе предложенного севооборота ежегодно выносить около 570000 мг/га ТМ. В условиях высоко опасной степени загрязнения для получения экологически безопасной продукции и улучшения свойств черноземов рекомендуется применять химическую детоксикацию с использованием сорбент-мелиорантов (СОРБЭКС, сапропель, УМС). Наибольший эффект достигается при комплексном применении мероприятий, включающих биологическую очистку и химическую детоксикацию почв. При существующем загрязнении оподзоленных и выщелоченных черноземов, рекомендуется вносить один раз в 3-4 года не менее 10 т/га в год удобрительно-мелиорирующей смеси на основе карбонатного сапропеля с добавлением торфа и обработкой ЭМ-культурой, что позволит получать экологически безопасную сельскохозяйственную продукцию. Прибавка урожайности в предложенной технологии составит 800 корм.ед./га и увеличит вынос ТМ фитомелиорантами до 201000 мг/га, что позволит улучшить экологическую обстановку.

Выполненная в работе оценка общественной эффективности применения органо-минеральных сорбентов с учетом предотвращенного экологического ущерба от загрязнения земель химическими веществами составила 271 тыс.руб/га, эффективность применения УМС в качестве органического удобрения для повышения урожайности растениеводческой продукции без учета величины предотвращенного ущерба от загрязнения почвы химическими веществами составила 900 руб/га.

## ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ ПРОИЗВОДСТВУ

1. Выполненный анализ и обобщение работ отечественных и зарубежных авторов по проблеме снижения токсичности почв, загрязненных тяжелыми металлами, позволил охарактеризовать техногенные источники загрязнения почв, обосновать основные направления очистки и детоксикации в зависимости от степени их загрязнения. Показано, что реабилитационные меры применяются для ликвидации последствий уже существующего загрязнения и являются мерами по санации почв. Санацию почв рекомендуется проводить методами очистки и детоксикации. Очистка и детоксикация почв могут осуществляться физическими, химическими и биологическими методами. Выбор метода зависит от степени загрязнения почвенного покрова, в особо сложных условиях методы комбинируются. Эффективность рассмотренных приемов значительно возрастает при их комплексной и поэтапной реализации.

2. Установлено, что в процессе почвообразования и в результате техногенной нагрузки в корнеобитаемом слое черноземов Рязанской области произошла аккумуляция Cu, Zn, Pb, Cd в количествах больших, по сравнению с фоновым содержанием в почвообразующих породах. Наблюдается негативная тенденция повышения концентрации этих элементов в черноземах, что требует проведения специальных мелиоративных мероприятий по очистке и детоксикации загрязненной почвы.

3. Предложена концептуальная модель санации почв, загрязненных тяжелыми металлами, которая позволила теоретически обосновать подходы и разработать комплексы мелиоративных мероприятий для повышения экологической устойчивости агроландшафтов в условиях техногенного загрязнения.

4. Показано, что толерантность гречихи и черных бобов к повышенному содержанию в почве Cu, Zn, Pb, Cd и способность накапливать поллютанты в высоких концентрациях в фитомассе позволяет их использовать в севообороте как фитомелиоранты для биологической очистки черноземов при умеренно опасной степени загрязнения. Рекомендуется для оподзоленных и выщелочен-

ных черноземов Рязанской области в состав севооборота включать указанные культуры с целью снижения загрязнения почв ТМ.

5. Установлено, что внесение минеральных удобрений в дозе  $N_{60}P_{60}K_{60}$  снижает концентрацию Cu, Zn, Pb в урожае овса, в дозе  $N_{90} P_{60} K_{90}$  снижает концентрацию Cu, Zn, Pb, Cd в корнеплодах кормовой свеклы и является необходимым агрохимическим мероприятием, обеспечивающим улучшение качества растениеводческой продукции.

6. В работе дана оценка эффективности применения СОРБЭКСа по снижению концентрации Cu, Zn, Pb в фитомассе овса. Применение сорбент-мелиоранта из расчета  $3,3 \text{ кг/м}^2$  способствовало повышению фитомассы овса на всех вариантах опыта (от допустимой до чрезвычайно опасной степени загрязнения почв) по сравнению с контролем, более чем в 2 раза и позволило значительно снизить концентрацию ТМ в фитомассе.

7. Проведенные натурные исследования в Рязанской области по применению сапропеля и удобрительно-мелиорирующей смеси для детоксикации почв показали, что их внесение благоприятно сказывается как на улучшении агрохимических свойств оподзоленных черноземов, так и на урожайности и качестве растениеводческой продукции. Для достижения наибольшего эффекта рекомендуется применять культуры-мелиоранты на фоне внесения сорбент-мелиорантов.

8. В работе предложен комплекс мероприятий по очистке и детоксикации оподзоленных черноземов, включающий биологическую очистку и химическую детоксикацию с использованием новых сорбент-мелиорантов. Применение указанного комплекса позволит снизить техногенную нагрузку на почвенный покров и обеспечит повышение урожайности не менее, чем на 30% при улучшении качества растениеводческой продукции.

**По теме диссертации опубликовано 20 работ, из них основными являются следующие работы:**

1. Мажайский Ю.А., Ильинский А.В. Проблема сохранения плодородия черноземов на территории Рязанской области // Человек и окружающая среда: Материалы к третьей Республиканской научной конференции. – Рязань, 1999. – С. 257-259.
2. Ильинский А.В., Мажайский Ю.А. Анализ содержания тяжелых металлов в черноземах Рязанской области // Человек и окружающая природная среда: Сборник материалов третьей Международной научно - практической конференции. – Пенза, 2000. – С. 103-105.
3. Ильинский А.В. Экологическая оценка состояния черноземов в условиях антропогенной нагрузки на территории Рязанской области // Проблемы медицинской науки: Сборник трудов молодых исследователей. – Рязань, 2000. – С. 19-20.
4. Кирейчева Л.В., Мажайский Ю.А., Ильинский А.В. Особенности поступления и расхода тяжелых металлов в агроценозе Рязанской области // Современные проблемы использования почв и повышения эффективности удобрений. Ч.1. Проблемы воспроизводства почвенного плодородия: Материалы Международной научно - практической конференции. – Горки: БГСХА, 2001. – С. 67-69.
5. Кирейчева Л.В., Мажайский Ю.А., Ильинский А.В. Особенности системного подхода в исследовании почв // Деградация почвенного покрова и проблемы агроландшафтного земледелия: Материалы первой Международной конференции. Ставрополь, 2001. – С. 251-252.
6. Мажайский Ю.А., Ильинский А.В. Проблема управления рисками при антропогенном загрязнении биосистем // Шестая Всероссийская научно-практическая конференция «Управление рисками чрезвычайных ситуаций». – М.: КРУК, 2001. – С. 364-365.

7. Ильинский А.В., Мажайский Ю.А., Ляпкало А.А. Особенности детоксикации черноземов, загрязненных тяжелыми металлами // Социально-гигиенический мониторинг здоровья населения: Материалы четвертой Межрегиональной научно-практической конференции. – Рязань, 2001. – С. 235-236.
8. Мажайский Ю.А., Кирейчева Л.В., Ильинский А.В. Прогноз экологической чистоты продукции, выращиваемой на землях, загрязненной тяжелыми металлами // Экологические проблемы мелиорации (Костяковские чтения): Материалы Международной конференции. – М.: Изд-во УПК «Федоровец», 2002. – С. 173-174.
9. Ильинский А.В. Биологическая очистка почв, загрязненных тяжелыми металлами // Агрехимический вестник, 2003, №5, С.30-32.
10. Кирейчева Л.В., Мажайский Ю.А., Ильинский А.В. Оценка толерантности сельскохозяйственных культур к загрязнению черноземов тяжелыми металлами // Аграрная наука, 2003, №8, С. 19-20.
11. Ильинский А.В., Кирейчева Л.В., Мажайский Ю.А., Ляпкало А.А. Очистка и детоксикация почв, загрязненных тяжелыми металлами // Влияние природных и антропогенных факторов на биоэкосистемы. Сборник научных трудов. – Рязань, 2003. – С. 262-264.
12. Ильинский А.В. Применение фитомелиорантов для очистки почв, загрязненных тяжелыми металлами // Там же. – Рязань, 2003. – С. 259-262.





ГНУ Всероссийский научно - исследовательский институт  
гидротехники и мелиорации А.Н.Костякова.

Москва, 127550, ул. Большая Академическая, 44. Подписано к  
печати 28.10.03г      Заказ № 20      Тираж 100 экз



2003-A  
18313

\* 18313