

На правах рукописи



ПУГАЕВ
Сергей Васильевич

**СОДЕРЖАНИЕ И ТРАНСЛОКАЦИЯ ПОЛЛЮТАНТОВ
В КОМПОНЕНТАХ АНТРОПОГЕННО ИЗМЕНЕННЫХ
БИОГЕОЦЕНОЗОВ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ МОРДОВИЯ**

Специальность 03. 02. 08 – экология (биология)

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Нижний Новгород

2013

Работа выполнена на кафедре ботаники и физиологии растений Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Мордовский государственный университет им. Н.П. Огарева» и в государственном научном учреждении «Мордовский научно-исследовательский институт сельского хозяйства»

Научный
руководитель: **Лукаткин Александр Степанович**
доктор биологических наук, профессор,
заведующий кафедрой ботаники и физиологии растений
МГУ им. Н.П. Огарева

Официальные
оппоненты: **Веселов Александр Павлович**
доктор биологических наук, профессор, заведующий
кафедрой биохимии и физиологии растений
Нижегородского государственного университета им.
Н.И. Лобачевского

Воскресенская Ольга Леонидовна
доктор биологических наук, профессор, заведующая
кафедрой экологии Марийского государственного
университета

Ведущая организация: **ФГОУ ВПО «Нижегородская государственная
сельскохозяйственная академия»**,
г. Нижний Новгород

Защита диссертации состоится **«25» декабря 2013 г. в 15:00 часов** на заседании диссертационного совета Д 212.166.12 при Нижегородском государственном университете им. Н.И. Лобачевского по адресу: 603950, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, д. 23, корп. 1, биологический факультет

E-mail: dis212.166.12@gmail.com

факс: (831) 462-30-85

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского, с авторефератом – в сети Интернет на сайте Нижегородского государственного университета им. Н.И. Лобачевского по адресу: <http://www.unn.ru>, на сайте ВАК России – <http://vak2.ed.gov.ru/catalogue>.

Автореферат разослан « 22 » ноября 2013 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета,
кандидат биологических наук



М.С. Снегирева

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. С интенсивным развитием промышленно-энергетического комплекса происходит трансформация химического состава компонентов природной среды, резко возрастает содержание химических соединений (Ягодин и др., 1996; Тазетдинова и др., 2009).

Тяжелые металлы (**ТМ**) и радионуклиды (**РН**) представляют большую опасность для живых организмов (Гуральчук, 1994; Милащенко и др., 2000; Алексахин и др., 2001; Панов и др., 2005; Prasad, Freitas, 2006). ТМ, попадая в почву, далее мигрируют в водные источники и живые организмы, в том числе растения. Накапливаясь в компонентах естественных и антропогенно измененных биогеоценозов, они нарушают их функционирование; мигрируя в растения, снижают продуктивность культурных растений и ухудшают качество продукции (Черных и др., 1999).

Наличие разных эколого-эдафических условий в локальных территориальных образованиях предполагает их детальное изучение (Мотузова, 1999; Ладонин, Карпухин, 2004; Мажайский и др., 2009). Региональный фон ТМ и РН создается сочетанием глобальных и местных выпадений (Глазовская, 1999; Ильин и др., 2003). В агроландшафтах Республики Мордовия (**РМ**) не проводилось детального исследования особенностей распределения, накопления и миграции ТМ в компонентах биогеоценозов, а также научно-обоснованных приемов детоксикации ТМ и РН и снижения их поступления в растения, как первичное звено пищевой цепи.

Цель и задачи исследования: Изучить содержание, накопление и транслокацию техногенных поллютантов (тяжелых металлов и радионуклидов) в системе почва–вода–растение антропогенно измененных биогеоценозов в условиях Республики Мордовия.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

- 1) Исследовать региональный уровень и транслокацию поллютантов (тяжелых металлов и радионуклидов) в почвах, водах и растениях в связи с агропочвенным районированием РМ;
- 2) Исследовать влияние свойств почв и агрохимикатов (удобрений, средств защиты и регуляторов роста растений) на миграцию ТМ и РН в компонентах агроценозов;
- 3) Изучить накопление ТМ дикорастущими травянистыми и древесными растениями в естественных и антропогенно измененных условиях произрастания;
- 4) Оценить влияние древесных растений на содержание валовых и подвижных форм ТМ и степень их подвижности в почве антропогенно измененных биогеоценозов.

Научная новизна. Впервые получены данные регионального фона валового содержания ТМ и оценка их миграции в основных типах пахотных почв РМ. Установлены уровни ТМ в почвах, природных водах и растениях агропочвенных районов РМ. Полученный показатель суммарного загрязнения ТМ пахотных почв РМ $Z_c < 16$ свидетельствует о допустимом загрязнении почв РМ и невысоком уровне антропогенной нагрузки. Выявлены тенденции и закономерности содержания и

накопления ТМ в компонентах биогеоценозов – почвах, водах и растениях в связи с антропогенными и природными факторами.

Впервые для РМ, часть территории которой загрязнена вследствие аварии на ЧАЭС, получены коэффициенты перехода (КП) ^{90}Sr и ^{137}Cs из почвы в сельскохозяйственные культуры. В результате комплексного изучения транслокации ТМ в компонентах агроценоза при раздельном и совместном действии удобрений и средств защиты растений на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом впервые получены параметры миграции ТМ в сопредельных средах.

Установлены влияние интродуцированных и аборигенных видов дендрофлоры Ботанического сада МГУ им Н. П. Огарева на содержание и подвижность ТМ в почве под растениями и особенности аккумуляции ТМ листьями растений разных жизненных форм.

Теоретическое и практическое значение работы. Показано отсутствие негативного влияния длительного применения агрохимикатов на миграцию ТМ в профилях почвы, в фильтрационные воды и урожай. Параметры миграции ТМ и РН в почвах предоставляют возможность моделировать эти процессы и прогнозировать появление негативных агроэкологических ситуаций.

Выявлено модифицирующее действие синтетических цитокининов на накопление ТМ растениями огурца. Методика снижения накопления ТМ в урожае (патент РФ № 2218691) позволяет получать экологически более чистую продукцию. Полученные результаты вносят вклад в понимание особенностей миграции ТМ в биогеоценозах и могут быть использованы в учебном процессе при чтении курсов лекций по экологии. Информационная база, сформированная на основе исследований, может быть использована при разработке рекомендаций по экологическим экспертизам биогеоценозов для снижения содержания ТМ и РН в почвах, водах, биомассе растений.

Положения, выносимые на защиту:

1. Количество поллютантов в почвах, природных водах и растениях определяется их местоположением в системе агропочвенного районирования и соотношением естественных и техногенных факторов. В агропочвенных районах проявляются миграционные особенности ТМ по отношению сопредельных сред: почва–вода–растения.

2. Аккумуляция ТМ и РН растениями и компонентами урожая видоспецифично, зависит от свойств почв и уровня антропогенной нагрузки на биогеоценозы. Растения активно влияют на накопление, фракционный состав и подвижность ТМ в почве.

3. Удобрения, средства защиты и регуляторы роста растений оказывают модифицирующее действие на накопление и транслокацию ТМ культурными растениями.

Апробация результатов и публикации. Основные результаты и положения работы представлены и доложены на **Международных конференциях** «Почва, отходы производства и потребления: проблемы охраны и контроля» (Пенза, 1998),

«Миграция тяжелых металлов и радионуклидов в звене почва – растение – корм (рацион) – животное – продукт животноводства – человек» (Великий Новгород, 2001), «Проблемы изучения и охраны биоразнообразия и природных ландшафтов Европы» (Пенза, 2001), «Регуляторы роста и развития растений в биотехнологиях» (Москва, 2001), «Актуальные вопросы экологической физиологии растений в XXI веке» (Сыктывкар, 2001), «Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде» (Семипалатинск, 2002), «Биологическое разнообразие северных экосистем в условиях изменяющегося климата» (Апатиты, 2009), «Проблемы озеленения крупных городов» (Москва, 2010; 2011); «Ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции» (Саранск, 2012); «Роль ботаничних садів і дендропарків у збереженні та збагаченні біологічного різноманіття урбанізованих територій» (Київ, 2013); **Всероссийских конференциях:** «Экологические проблемы и пути их решения в зоне Среднего Поволжья» (Саранск, 1999), «Проблемы водного хозяйства и экологии водных бассейнов» (Пенза, 2000), «Освоение адаптивно-ландшафтных систем земледелия и агротехнологий» (Ульяновск, 2010), «Научное обеспечение АПК Евро-Северо-Востока России» (Саранск, 2010), «Физиолого-биохимические основы продукционного процесса у культивируемых растений» (Саратов, 2010), «Роль повышения квалификации кадров в инновационном развитии агропромышленного комплекса Мордовии» (Саранск, 2011), «Новые сорта сельскохозяйственных культур – составная часть интенсивных технологий в растениеводстве» (Орел, 2011), «Перспективные направления исследований в земледелии и растениеводстве» (Ульяновск, 2011), «Достижения и перспективы научного обеспечения агропромышленного комплекса Центрального региона России» (Моск. обл., Немчиновка, 2011); **Межрегиональных и республиканских научно-практических конференциях:** «Роль науки и инноваций в развитии хозяйственного комплекса Республики Мордовия» (Саранск, 2001), «Управление качеством образования, продукции и окружающей среды» (Бийск, 2003).

По материалам диссертации опубликовано 33 работы, из них 6 в изданиях, рекомендуемых перечнем ВАК РФ, имеется 1 патент на изобретение.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, выводов, библиографического списка (313 источников, из них 43 на иностранных языках). Общий объем работы – 194 страницы, включает 39 таблиц и 25 рисунков.

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в полевых работах. Практически единолично провел аналитическое исследование, анализ литературных данных, интерпретацию полученных результатов, написание текста диссертационного исследования и формулировку выводов. Обсуждение работы проводилось с научным руководителем.

Благодарность. Выражаю благодарность сотрудникам ФГУ ГЦАС «Мордовский», принимавшим участие в проведении некоторых этапов исследования.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Введение. Во введении обоснована актуальность темы диссертационной работы, изложены цель и задачи исследования, научная новизна и научно-практическая значимость проведенных исследований, апробация работы.

Глава 1. Обзор литературы. В главе представлен обзор работ по содержанию, поглощению, накоплению и миграции ТМ и РН в компонентах биогеоценозов, освещены возможности модификации этих процессов.

Глава 2. Условия, объекты и методы исследования. 2.1. Природная характеристика территории Республики Мордовия. Работа проведена в Республике Мордовия, расположенной на южной границе лесостепной зоны РФ. Климат умеренно-континентальный: среднегодовая температура – 3,5–4,0 °С, среднее многолетнее количество осадков – 525–552 мм (Каргин и др., 2011). Равнинно-холмистый рельеф и влияние юго-западных ветров создают условия для постепенного падения среднегодовой температуры воздуха с запада на восток и уменьшения количества осадков в центральных и восточных районах. В среднем за вегетационный период гидротермический коэффициент составляет 1,3, и создаются нормальные условия для роста и развития сельскохозяйственных культур (Михалевская, 1983). В западных районах Мордовии преобладают дерново-подзолистые почвы, сменяющиеся в центральной части на группу светло-серых, серых и темно-серых лесных, переходящих к востоку к выщелоченным и оподзоленным черноземам. Пойменные почвы распространены повсеместно (Клочков, 1978; Вольфсон, 1983; Щетинина, 1990).

2.2. Объекты исследования. Сельскохозяйственные растения: рожь озимая [*Secale cereale* L.], пшеницы озимая и яровая [*Triticum vulgare* L.], ячмень яровой [*Hordeum sativum* var. *distichon* Asch. et. Graebn.], овес посевной [*Avena sativa* L.], просо обыкновенное [*Panicum miliaceum* L.], горох посевной [*Pisum sativum* L.], козлятник восточный [*Galega orientalis* Lam.], огурец посевной [*Cucumis sativus* L.], картофель [*Solanum tuberosum* L.] и другие (всего 21 культура).

Дикорастущие травянистые: полынь горькая [*Artemisia absinthium* L.], тысячелистник обыкновенный [*Achillea millefolium* L.], одуванчик лекарственный [*Taraxacum officinale* Wigg.], бодяк полевой [*Cirsium arvense* (L.) Scop.].

Древесные: лиственные кустарники: 1. *боярышник алтайский [*Crataegus altaica* (Zoud.) Zange], 2. кизильник черноплодный [*Cotoneaster melanocarpus* Lodd], 3. бузина кистевидная [*Sambucus racemosa* L.], 4. *снежноягодник белый [*Symphoricarpos albus* (L.) Blake], 5. лещина обыкновенная [*Corylus avellana* L.], 6. *облепиха крушинолистная [*Hippophae rhamnoides* L.], 7. *сирень обыкновенная [*Syringa vulgaris* L.], 8. *барбарис обыкновенный [*Berberis vulgaris* L.];

лиственные деревья: 1. робиния ложноакациевая [*Robinia pseudoacacia* L.], 2. *бархат амурский [*Phellodendron amurense* Rupr.], 3. береза повислая [*Betula pendula* Roth], 4. вяз гладкий [*Ulmus laevis* Pall.], 5. *груша уссурийская [*Pyrus ussuriensis* Maxim.], 6. *черемуха Маака [*Padus maackii* (Rupr.) Kom.], 7. *черемуха поздняя [*Padus serotina* (Ehrh.) Agardh], 8. яблоня домашняя [*Malus domestica* Borkh.], 9. дуб черешчатый [*Quercus robur* L.], 10. *конский каштан обыкновенный [*Aesculus*

hippocastanum L.], 11. ива пятитычинковая [*Salix pentandra* L.], 12. ива ломкая [*Salix fragilis* L.], 13. *тополь бальзамический ф. пирамидальная [*Populus balsamifera* L. cv. *pyramidalis*], 14. *клен ясенелистный [*Acer negundo* L.], 15. *клен Гиннала [*Acer ginnala* Maxim.], 16. *орех маньчжурский [*Juglans manshurica* Maxim.], 17. *орех серый [*Juglans cinerea* L.], 18. *ясень американский [*Fraxinus americana* L.], 19. липа мелколистная [*Tilia cordata* Mill.], 20. *липа крупнолистная [*Tilia platyphyllos* Scop.];

хвойные деревья и кустарники: 1. *ель колючая [*Picea pungens* Engelm.], 2. *лиственница европейская [*Larix deciduas* Mill.], 3. *псевдотсуга сизая [*Pseudotsuga glauca* (Bliss) Majr], 4. сосна обыкновенная [*Pinus sylvestris* L.], 5. *можжевельник казацкий [*Juniperus sabina* L.], 6. *туя западная [*Thuja occidentalis* L.].

(* – растения-интродуценты). Латинские названия даны по Черепанову С.К. (Сосудистые растения..., 1995).

2.3. Постановка экспериментов. 1) *Изучение миграции ТМ под влиянием длительного применения минеральных удобрений и средств защиты растений в системе почва–вода–растение* в полевом лизиметре. **Исследуемые факторы:** А – минеральные удобрения: 1– без удобрений (контроль); 2– умеренная доза; 3– высокая доза; В – система защитных мероприятий: 1– без средств защиты (контроль); 2– комплекс защиты растений от вредных биофакторов (сорняки и вредители). Размер учетной делянки 4 м². Определяли содержание ТМ в почве, воде и растениях методом рентгеновской флуориметрии (МРФ).

2) *Накопление и миграция ТМ в системе почва–растение (козлятник восточный) при действии минеральных удобрений.* Использовали N_{аа}, P_{сд}, K_х при регулярном внесении и в запас. **Схема опыта:** вариант 1: без удобрений; вариант 2: P₂₄₉K₁₉₁ под урожай сухого вещества 4 т/га; вариант 3: P₅₆₇K₆₇₅ под урожай сухого вещества 6 т/га; вариант 4: N₁₅₂P₂₅₅K₁₉₀ (азота 30% от потребности) под урожай сухого вещества 4 т/га; вариант 5: N₂₃₂P₅₃₂K₅₈₀ (азота 30% от потребности) под урожай сухого вещества 6 т/га; вариант 6: под урожай сухого вещества 4 т/га одноразово внесено в запас на три года P₁₄₄K₂₇₉. Дозы удобрений внесены к моменту отбора образцов – четвертый год жизни растений. Размер учетной делянки 30 м². В образцах почвы и сене козлятника с двух укосов определяли ТМ методом МРФ.

3) *Влияние синтетических регуляторов роста (тидиазурон и цитодеф) на накопление ТМ растениями огурца.* **Схема мелкоделяночных опытов:** вариант 1: контроль (вода); вариант 2: тидиазурон 10⁻⁸ М (цитодеф 10⁻⁷ М) – обработка семян; вариант 3: тидиазурон 10⁻⁸ М (цитодеф 10⁻⁷ М) – обработка растений в фазу 3-х листьев; вариант 4: тидиазурон 10⁻⁸ М (цитодеф 10⁻⁷ М) – обработка семян + обработка растений в фазу 3-х листьев. Учетная делянка 3 м² (1,5x2м). Анализировали ТМ в вегетативных частях растений и плодах методом МРФ.

2.4. Методы работы. Отбор проб. Почвы. А) На пахотных почвах агропочвенных районов I–IV (Осичкин и др., 2005) индивидуальные почвенные образцы (характеризующие 12 га пашни) создавали из 24 точечных проб по (Методические указания ..., 1989). Для определения ТМ составляли смешанный образец (один на одно поле или отдельно обрабатываемый участок площадью до 100 га или на каждые 100 га

поля) из индивидуальных образцов. Площадки отбора (51 штука) репрезентативно представляли районы и каждая соответствовала 40-50 смешанным образцам (рис. 1). Всего проанализирован 2241 смешанный образец. **Б)** Почву на глубину до 20 см в естественных условиях и агроценозах, а в лизиметрическом эксперименте до 1 м отбирали в летний период почвенными бурами (Методические указания ..., 1989).

Вода. Образцы природных вод из агропочвенных районов I–V отбирали из проточных (реки) и непроточных (пруды, озера) поверхностных источников, а также из подземных – грунтовых (колодцы) и артезианских (водопроводные скважины) согласно (Методы..., 1984).

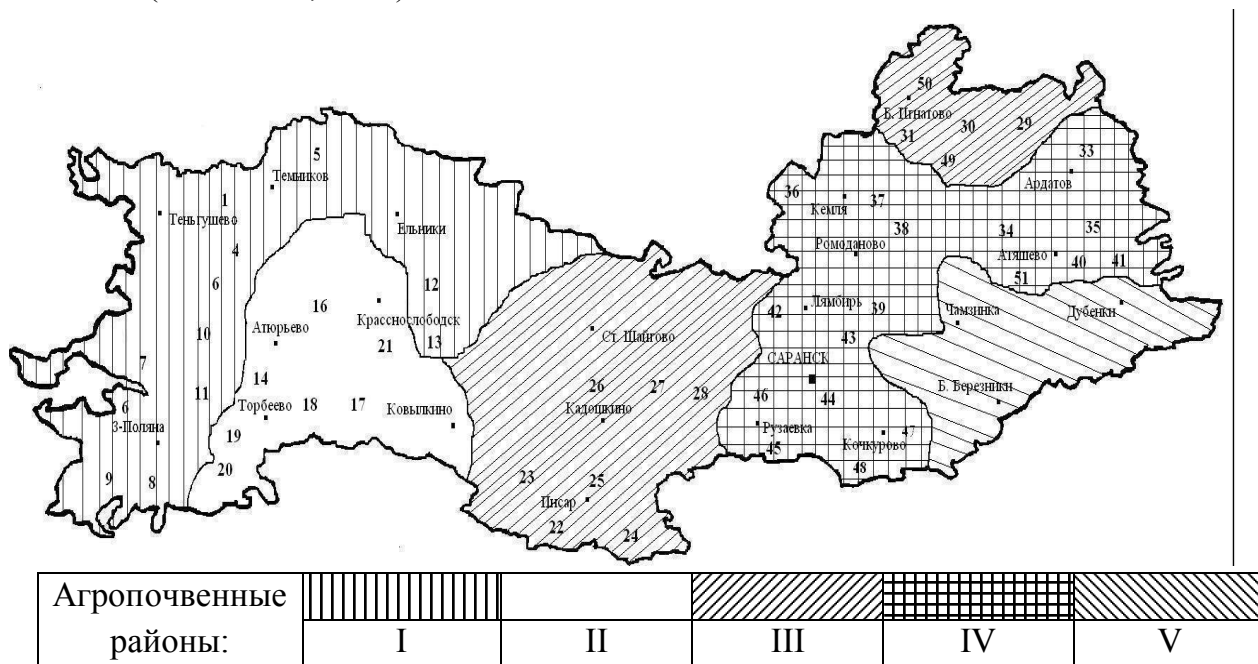


Рис. 1. Карта-схема площадок отбора почвенных образцов в связи с агропочвенным районированием Республики Мордовия. **Обозначения:** 1-51 – точки (площадки) отбора почвенных образцов.

Растения. Культурные растения отбирали в агроценозах, дикорастущие – в естественных условиях (Чамзинский район РМ и Ботанический сад Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева). Растения для определения ТМ и РН отбирали по правилам (Унифицированные правила ..., 1983); листья и хвою древесных растений собирали в августе-сентябре, травы – в период цветения (Базилевич и др., 1978).

Аналитические методы. Анализ ТМ методом рентгеновской флуориметрии (МРФ), основанном на облучении вещества рентгеновскими лучами, в результате чего возбуждаются электроны на внутренних электронных оболочках, проводили в почве, воде и растениях на приборе «Спектроскан» (Методика..., 1993; 1993а; 1994).

Определение ТМ атомно-абсорбционным методом (ААМ). Кислоторастворимые формы (КРФ) ТМ извлекали из почвы HNO_3 , а подвижные (ПФ) – аммонийно-ацетатным буфером (ААБ) рН 4,8 (Методические..., 1992; 1993).

Навески растительных образцов последовательно минерализовали в муфельной печи HNO_3 и HCl и после дополнительной обработки на спектрометре «Квант» в воздушно-ацетиленовом пламени определяли ТМ (Методические..., 1993).

^{137}Cs и ^{90}Sr определяли радиохимическим методом в почве и растениеводческой продукции после озонирования, экстракции кислотами, очистки, концентрирования РН осаждением, замеры на приборе БДКБ (Методика ..., 1986).

Расчетные величины. Относительные концентрационные коэффициенты ($K_{\text{одк}}$) и средние кларки концентрации (K_c) металлов в агропочвенных районах рассчитывали на основе фоновых величин ориентировочно-допустимых концентраций (ОДК) (Ориентировочно..., 1995) и мировых кларков соответственно, суммарные показатели загрязнения почвы ($Z_{\text{одк}}$) и (Z_c) делали по формулам Ю. Е. Саета (Сает и др., 1990); коэффициент биологического поглощения (**КБП**) ТМ растением из почвы рассчитывали по (Перельман, 1975); подвижность металлов в почве (степень подвижности, в %), (**СП**); барьерный коэффициент (**БК**) – отношение между содержаниями ТМ: надземная часть/корень, генеративная часть/стебель по (Ильин, 1991); коэффициент вариации содержания металлов (**V**, %) по (Сает и др., 1990); коэффициенты перехода РН из почвы в растения (**КП**) – отношение содержания РН в растении к его уровню в почве по (Методика..., 1986).

2.5. Статистическую обработку проводили методами дисперсионного, корреляционного и регрессионного анализов по программе STAT 3, сравнение вариантов по HSP_{05} , t-критерию Стьюдента при $P=0,95$ (Лакин, 1980). Повторности экспериментов: 3–4-кратные; анализов – 3-кратные. Всего проанализировано 2 595 образцов почвы, 304 образца воды, 423 пробы культурных и 114 дикорастущих травянистых и древесных растений. В таблицах и рисунках представлены средние значения измерений с их стандартными ошибками.

Глава 3. Содержание и миграция тяжелых металлов в природных средах (почвах и водах) Республики Мордовия.

3.1. Особенности распределения ТМ изучали в пахотных почвах агропочвенных районов I–IV РМ. Установлено, что каждый район имел характерные особенности валового содержания металлов (табл. 1). Концентрации Pb, Cu, Mn в почвах значимо (при $P=0,05$) снижались от района I к району IV. Во всех агропочвенных районах валовые формы ТМ по абсолютному содержанию составляли убывающий ряд: $\text{Fe} > \text{Mn} > \text{Cr} > \text{Zn} > \text{Ni} > \text{Cu}$, далее Pb и Co (варьировали по районам).

Максимальные значения коэффициентов вариации содержания Cu, Ni, Cr, совпадающие с их повышенными уровнями, указывают на воздействие точечных источников техногенного происхождения. С повышением содержания Pb, Zn, Fe, Mn и уменьшения концентрации Co коэффициент их вариации снижался, что свидетельствует о существенном влиянии подстилающих пород. Таким образом, валовое количество ТМ в пахотных почвах агропочвенных районов является результатом совместного действия естественного и антропогенного факторов.

Валовое содержание ТМ в почвах агропочвенных районов Республики Мордовия

Район	Pb	Zn	Cu	Ni	Co	Fe ($\times 10^3$)	Mn	Cr
	мг/кг воздушно-сухой массы почвы							
I	26,11±0,78	66,64±1,18	30,27±1,31	32,13±0,71	12,08±0,46	31,02±0,45	1 213,45±19,36	85,62±1,15
II	17,26±0,63	55,50±1,75	19,76±0,80	32,37±0,97	15,90±0,65	37,21±0,59	676,80±17,82	81,42±1,88
III	14,22±0,49	53,76±1,02	21,99±0,82	43,79±1,67	19,58±0,56	41,86±0,31	902,73±23,83	73,38±1,02
IV	15,67±0,45	59,50±1,14	23,04±0,81	43,66±0,98	20,94±0,36	44,75±0,19	868,75±15,05	66,89±0,81
ОДК	30	100	55	65	25	38	1 500	100
кларк	16	83	47	58	18	42	1 000	83
	Коэффициент вариации, %							
I	72,07	42,54	103,59	52,77	90,33	34,67	38,23	32,17
II	68,86	59,35	75,81	56,28	77,03	29,90	49,67	43,37
III	74,47	41,18	80,32	82,13	61,71	16,09	57,05	29,96
IV	88,67	58,87	107,47	68,82	47,94	12,76	53,18	37,27
	Отсутствие значимого различия по t_d (при $P=0,05$) между районами *							
		II/III; II/IV	II/III; II/IV; III/IV	I/II; III/IV			III/IV	I/II

Обозначения: (*) между остальными районами значимое различие (при $P=0,05$) имеется.

Оценки загрязненности почв агропочвенных районов ТМ по относительным концентрационным коэффициентам на основе фоновых величин ОДК ($K_{одк}$) и средним кларкам концентрации металлов на основе мировых кларков (K_c) совпали и составили для районов ряд: I > IV > III > II (рис. 2). Выявленная величина $K_c > 1,0$ указывает на накопление почвами металлов выше кларка: Pb (районы I и II), Co (III и IV), Fe (IV), Mn, Cr (район I). От района I к району IV выявлены тенденции снижения K_c для Pb, Zn, Cu, Mn и Cr, и возрастания для Ni, Co, Fe. Максимум K_c отмечен для Pb в районе I (> 1,5). K_c для Zn, Cu и Ni отличались минимальными значениями.

Суммарные показатели загрязнения почв ТМ $Z_{одк}=5,55$ и $Z_c=7,27$ свидетельствуют о допустимом ($Z<16$) загрязнении почв РМ и невысоком уровне антропогенной нагрузки (Эколого-геохимическая оценка..., 1993).

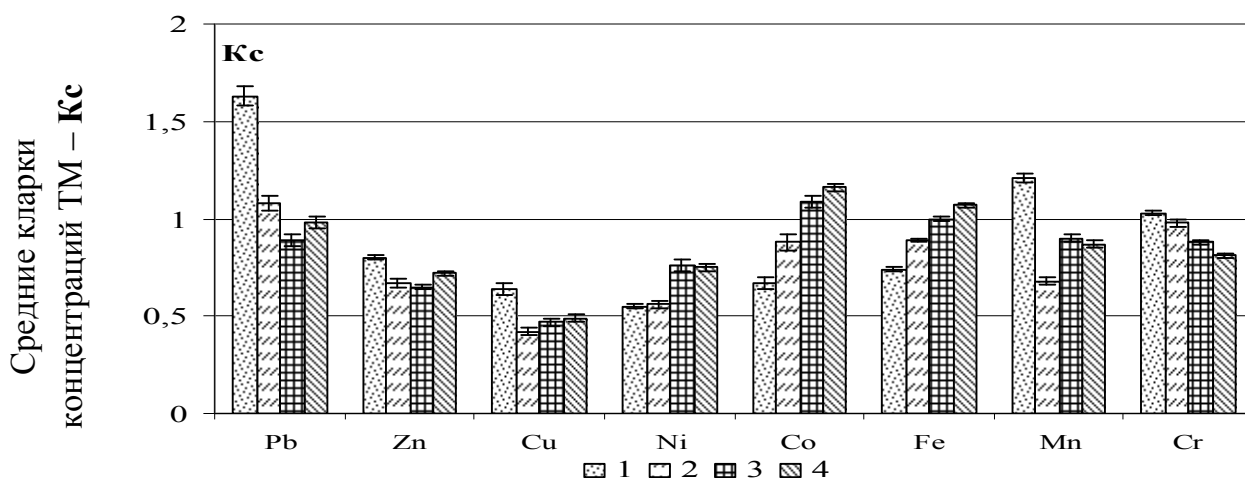


Рис. 2. Средние кларки концентраций ТМ (K_c) относительно мирового кларка для почв агропочвенных районов РМ. **Обозначения:** 1 - 4 – агропочвенные районы.

При изучении миграции ТМ в профиле почв различных типов в ходе вегетации выявлено, что максимальный уровень ТМ оказался в черноземной и пойменной почвах, а минимальный – в темно-серой лесной и дерново-подзолистой. Выявлена тенденция снижения концентрации практически всех ТМ к концу вегетационного периода в пахотном и подпахотном слоях.

На примере Mn, как модельного металла, определяли ПФ, у которой, кроме дерново-подзолистой почвы, основной объем и максимальная степень подвижности металла выявлены в пахотном горизонте. В темно-серой лесной почве его подвижность была выше, чем в других.

Особенности накопления ТМ в природных водах агропочвенных районов I–V РМ выявляли в поверхностных и подземных водах. Поверхностные воды, как наиболее подверженные антропогенному влиянию и смывам с почвы, имели повышенное содержание ТМ: в районе I – Cu, во II – Cr, во II и III – Fe, Mn, в III и IV – Ni, в IV – Pb, Zn, Cr, в V – Zn (табл. 2).

Подземные воды в районе III обладали высокой концентрацией Pb, Ni, Mn. В воде артезианских скважин районов IV и V выявлены максимальные уровни Fe и Mn, а в колодцах IV – Zn и Ni. Уровень ТМ в природных водах агропочвенных районов определяется видами вод и почвенными особенностями.

Качество воды объектов различного водопользования сравнивали с ПДК питьевой воды (Вода питьевая..., 1984). Превышения ПДК для Pb, Fe и Mn выявлены в немногих случаях, количество которых возрастало в ряду: артскважины < колодцы < реки < водоемы. Превышений по Fe было в 2 раза больше в реках I и II районов, чем в IV и V. Это связано, вероятно, с его поступлением с поверхностными стоками и обусловлено концентрацией и особенностями миграции в почвах агропочвенных районов РМ.

Таблица 2

Содержание ТМ в поверхностных водах агропочвенных районов, мкг/л

Металл	ПДК	Агропочвенные районы и объем выборки (n)				
		I (n=5)	II (n=12)	III (n=10)	IV (n=40)	V (n=17)
Pb	30	<i>нпо</i> II;III;IV;V	$5,0 \pm 3,0$ I	$7,0 \pm 5,0$ I	$9,6 \pm 3,1$ I	$6,2 \pm 2,6$ I
Zn	5000	$24,0 \pm 1,0$ ^B	$10,0 \pm 5,0$ ^A	$20,0 \pm 22,0$	$29,0 \pm 6,2$ ^B	$109,0 \pm 83$
Cu	1000	$210,0 \pm 15,0$ II;II-V	$130,0 \pm 24,0$ I	$80,0 \pm 15,0$ I;IV	$144,0 \pm 13,0$ I;III	$97,0 \pm 10,0$ I
Ni	–	<i>нпо</i>	<i>нпо</i>	$1,0 \pm 0,7$	$1,0 \pm 0,8$	<i>нпо</i>
Fe	300	$338,0 \pm 100$	$990,0 \pm 300$	$1060,0 \pm 322$	$786,0 \pm 204$	$697,0 \pm 200$
Mn	100	$32,0 \pm 6,0$ III; IV	$180,0 \pm 120,0$	$170,0 \pm 50,0$ I	$73,0 \pm 18,0$ I	$70,9 \pm 36,0$
Cr	–	$2,6 \pm 1,8$	$5,0 \pm 2,0$	$2,0 \pm 1,0$	$5,0 \pm 1,5$	$3,30 \pm 1,00$

Обозначения: в числителе: *нпо* – значения ниже пределов обнаружения; в знаменателе: I–V – наличие римских цифр указывает на значимые (P=0,05) различия с другими районами.

Глава 4. Накопление ТМ в компонентах антропогенно измененных биогеоценозов.

Поглощение ТМ дикорастущими травами. Содержание ТМ в надземной и подземной частях травянистых растений, растущих в зоне сильного антропогенного воздействия (около заводов ОАО «Мордовцемент»), различалось. Расчет КБП металлов на основании их содержания в почве показал повышенное поглощение подземными органами *Achillea millefolium* L. (Pb, Ni, Cu, Mn, Cr), *Taraxacum officinale* Wigg (Zn), *Artemisia absinthium* L. (Fe); надземными частями – *Cirsium arvense* (L.) Scop (Pb, Zn), *A. absinthium* L. (Zn, Ni, Mn), *T. officinale* Wigg (Mn). Поглощение разных металлов надземными и подземными частями травянистых растений было видоспецифичным, как и барьерный коэффициент.

Содержание ТМ в объектах дендрария

Растения		Cd	Pb	Cu	Mn	Zn	Fe
Листовой аппарат	Содержание, мг/кг воздушно-сухой массы листьев						
	Листв. деревья	0,119±0,042	1,96±0,16	4,28±0,38	45,89±14,49	15,62±2,25	153,50±24,85
	Листв. кустарники	0,083±0,029	2,19±0,21	5,13±0,64	81,71±25,79	18,26±4,08	156,48±35,39
	Хвойные	0,059±0,008	1,50±0,12*	3,68±0,41	69,92±10,31	27,89±3,77	145,96±18,67
	Корреляции металлов						
	Аборигенные	Pb-Cu=0,79; Pb-Fe=0,72; Cu-Fe=0,66					
	Интродуцированные	Pb-Cu=0,60; Pb-Fe=0,54; Cd-Zn=0,44; Mn-Zn=0,70					
Кислото растворимые формы ТМ почвы	Содержание, мг/кг воздушно-сухой массы почвы (Cd x 10 ⁻³ ; Fe x 10 ³)						
	Листв. деревья	100,44±9,07	16,88±1,53	13,88±1,12	463,20±27,12	38,50±3,94	20,24±1,29
	Листв. кустарники	84,71±9,50	14,90±1,13	21,54±7,83	403,61±54,06	43,60±7,99	27,56±6,74
	Хвойные	143,33±15,75	20,46±2,18	17,50±2,14	431,45±35,86	94,77±43,40	26,37±1,80
	Корреляции металлов						
	Аборигенные	Pb-Zn=0,61; Cd-Fe=0,64; Zn-Fe=0,68					
	Интродуцированные	Pb-Zn=0,46; Pb-Cu=0,94; Cd-Zn=0,48; Cd-Cu=0,65; Cd-Pb=0,66; Pb-Mn=0,71; Cu-Mn=0,70; Cu-Zn=0,49					
Содержание, мг/кг воздушно-сухой массы почвы							
Подвижные формы ТМ почвы	Лиственные деревья	0,029±0,003	2,14±0,24	0,26±0,03	17,46±1,09	6,82±4,72	6,33±1,03
	Листв. кустарники	0,034±0,005	1,79±0,27	0,30±0,05	19,15±2,94	3,13±2,14	4,87±1,22
	Хвойные	0,041±0,007	2,04±0,22	0,27±0,02	22,46±5,51	12,88±9,54	3,98±0,29
	Корреляции металлов						
	Аборигенные	Cd-Zn=0,62; Pb-Cu=0,61; Mn-Fe=0,72					
	Интродуцированные	Cd-Cu=0,44					
Виды с КБП > 1							
Количество, шт. (всего-9)		8	-	1	-	2	-

Обозначения: (*) – значимые различия по *t*-критерию при P=0,05 с другими группами растений дендрария.

Взаимное влияние почвы и древесных растений на накопление ТМ изучали в ботаническом саду МГУ им. Н.П. Огарева. Выявлено, что содержание ТМ в листовом аппарате у разных видов интродуцированных и аборигенных лиственных и хвойных деревьев и кустарников, а также в подкроновой почве значительно различалось (табл. 3), особенно у лиственных деревьев. Более высокое содержание ТМ в листьях выявлено для робинии ложноакациевой (Pb, Cu, Fe), тополя бальзамического (Cd, Zn), ивы пятитычинковой (Mn), лещины обыкновенной (Pb, Cu, Mn), ели колючей (Zn). Максимальным отмечено содержание в листьях кустарников (Mn) и деревьев (Cd), в хвое (Zn). Несмотря на то, что исследованные объекты росли на близком расстоянии друг от друга, содержание КРФ и ПФ ТМ в подкроновой почве деревьев сильно варьировало. Под хвойными видами выявлено повышенное содержание КРФ Cd и Zn. В тоже время варьирование ПФ металлов было выше, чем КРФ.

Степень подвижности ТМ в почве зависела от вида растения и была максимальной под лиственными деревьями и кустарниками, причем под некоторыми растениями сразу по нескольким ТМ, например под тополем бальзамическим (Cd, Cu, Mn), под кленом Гиннала (Cd –100 %, Cu); кизильником черноплодным (Cd –100 %, Pb), под бузиной кистевидной (Pb, Zn, Fe), под елью колючей (Pb, Mn, Fe). Следовательно, растения оказывали существенное влияние на изменение фракционного состава и СП ТМ в почве под своей кроной, особенно по Cd.

Корреляционные связи между металлами как в листовом аппарате аборигенных и интродуцированных видов, так и в почве под ними отличались количеством пар металлов. Отмечены одинаковые пары, но с разной силой связи.

КБП ТМ растениями сильно варьировали, при этом высокие коэффициенты не всегда соответствовали высокой подвижности или содержанию ПФ ТМ в почве. Гипераккумуляторными свойствами (КБП > 1,0) из 34-х видов обладали 9, среди них 8 – по Cd.

Таким образом, древесные растения активно регулировали поглощение ТМ, а также изменяли содержание и подвижность ТМ в почве.

Глава 5. Агрэкологические особенности накопления поллютантов в компонентах агроценозов

Накопление ТМ в продуктивной части растений выявляли в агропочвенных районах I, III и IV РМ. Максимальным уровнем ТМ выделялись культуры: в районе I – горох (Cu), озимая пшеница и ячмень (Ni); в районе III – овес (все металлы); в районе IV – горох (Pb), озимая пшеница (все ТМ, кроме Pb). Поскольку содержание Co и Cr в зерне из разных агропочвенных районов значимо ($P=0,05$) не различалось, то на рисунке 3 в качестве примера детально представлены особенности содержания Pb, Zn, Cu и Fe в семенах двух видов растений из разных семейств.

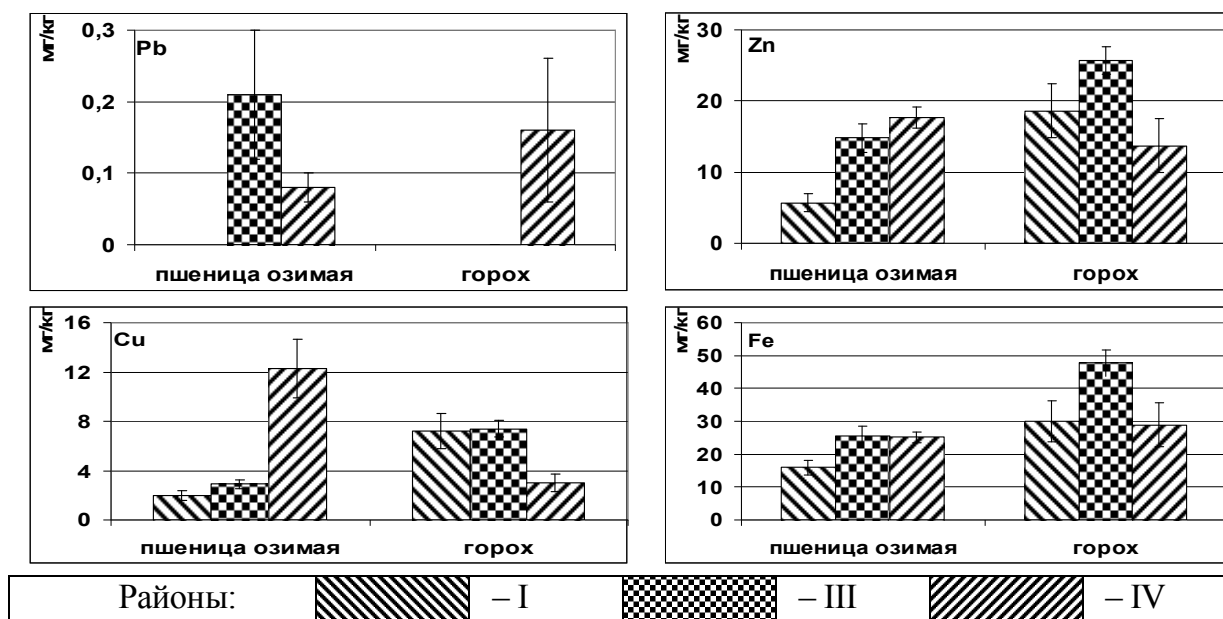


Рис. 3. Содержание ТМ в семенах пшеницы озимой и гороха, мг/кг сухой массы.

Расчет КБП показал, что интенсивность накопления ТМ варьировала как по видам растений, так и по районам для семян одной культуры (табл. 4). По величине КБП преобладали эссенциальные Zn и Cu, в отличие от неэссенциальных Pb и Cr. Накопление других металлов зависело от вида растений и района произрастания. Среди агропочвенных районов РМ наиболее интенсивное поглощение ТМ выявлено у культур из района III, далее из района IV и, самые низкие величины КБП (кроме Ni), отмечены в районе I.

Таким образом, уровень аккумуляции ТМ в зерне не был прямо пропорционален содержанию ТМ в почвах.

Региональные особенности накопления радионуклидов растениеводческой продукцией. Количество радионуклидов, накапливаемых растущими растениями, зависит от разных факторов. Коэффициенты перехода (КП) ^{137}Cs и ^{90}Sr варьировали у исследованных культур, выращенных как на одном типе почвы с разным гранулометрическим составом, так и на разных типах с одинаковым гранулометрическим составом. Авария на ЧАЭС привела к повышению количества ^{137}Cs в почве на ряде участков в РМ. В продукции проявилась тенденция к увеличению содержания (в том числе значимых при $P=0,05$) и КП ^{137}Cs . В то же время для ^{90}Sr обнаружены неодинаковые тенденции: у некоторых растений наблюдали снижение его концентрации (в соломе), в других – увеличение (в зерне).

Влияние агрохимикатов на транслокацию и накопление ТМ в компонентах агроценозов: почве, воде и растениях исследовали в экспериментах.

Содержание и миграцию ТМ под влиянием длительного применения минеральных удобрений и средств защиты растений изучали в полевом лизиметрическом опыте. Выявлено, что в пахотном слое почвы применение пестицидов и разных доз удобрений вызвало тенденцию к накоплению Pb, Cu, Co, Mn и Cr. Миграционная активность Pb и Cu в профиле почвы до 1 м значимо (при $P=0,05$) повышалась при использовании средств защиты растений.

**Соотношение величин коэффициентов биологического поглощения ТМ семенами культурных растений
из разных агропочвенных районов**

Агропочвенные районы		
I	III	IV
Озимая рожь		
Zn>Cu>Ni>Co>Mn>Cr>Fe>Pb	Cu>Zn>Pb>Ni>Mn>Cr>Fe>Co	Zn>Cu>Ni=Mn>Pb>Cr>Fe>Co
Озимая пшеница		
Zn>Cu>Ni>Mn>Fe>Cr>Pb=Co	Zn>Cu>Pb>Ni=Mn>Fe=Cr>Co	Cu>Zn>Co>Ni>Mn>Pb>Cr>Fe
Яровая пшеница		
–	Cu>Zn>Mn>Pb=Ni=Fe=Cr>Co	Zn>Cu>Mn>Ni>Cr>Pb>Fe>Co
Ячмень		
Zn>Cu>Ni>Mn>Fe=Cr>Pb>Co	Cu>Zn>Cr>Mn>Ni>Pb=Fe>Co	Zn>Cu>Co>Ni>Mn>Pb>Cr>Fe
Овес		
Cu>Zn>Ni>Mn>Fe>Cr>Co>Pb	Zn>Cu>Pb>Ni>Mn>Fe>Cr>Co	Zn>Cu>Mn>Ni>Pb>Fe=Cr>Co
Горох		
Zn>Cu>Ni>Mn>Fe>Co>Cr>Pb	Zn>Cu>Ni>Mn>Cr>Fe>Pb=Co	Zn>Cu>Ni>Pb>Mn>Cr>Fe>Co

В лизиметрической воде, прошедшей через слой почвы в 1 м, уровень ТМ в опытных вариантах закономерно не изменялся. ПДК ТМ для питьевой воды не были превышены.

В растениях проса и картофеля определяли концентрацию ТМ в вегетативной и генеративной частях. Зерно проса содержало Zn, Cu и Ni значимо (при $P=0,05$) больше, чем солома. При этом уровень Zn в зерне проса был в сильной прямой взаимосвязи от Cu ($r=0,89$) и Ni ($r=0,82$), в соломе – от Cu ($r=0,88$) и Cr ($r=0,79$). Применение средств химизации не оказывает достоверного влияния (при $P=0,05$) на содержание ТМ в просе. Наиболее высокий коэффициент вариации отмечался при содержании Pb в зерне и соломе, Ni в соломе: ($V=0,74-1,6$ раза). Под влиянием агрохимикатов КБП Fe и Pb (кроме умеренных доз удобрений) зерном снижалось, Zn, Ni и Mn увеличивались. По-видимому, барьерная функция на границе стебель/зерно у проса изменялась как в сторону усиления, так и в сторону торможения миграции отдельных ТМ.

Накопление и миграцию ТМ в растениях козлятника восточного и почве под ним при действии минеральных удобрений исследовали после 4-летнего выращивания на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом (слои 0–30 и 31–50 см). Этот вид относится к семейству бобовые, представители которого накапливают высокие концентрации ТМ. Он перспективен как кормовая культура.

В почве высокие дозы РК-удобрений вызывали повышение содержания Cu, Pb, Ni и снижение Cr. В то же время высокие дозы NPK-удобрений снижали концентрации Ni, Co, Fe и Mn, а низкие – Ni, но повышали уровень Cr. В биомассе козлятника первого укоса выявлено существенное увеличение содержания Pb, Zn и Cu при внесении удобрений в запас и уменьшение уровня Fe во всех вариантах (рис. 4). В сене 2-го укоса существенно увеличилось содержание Zn, Cu и Cr при ежегодном внесении высоких доз РК-удобрений (вар. 3). При их использовании в запас отмечено увеличение содержания Cr, уменьшение содержания Fe и Mn. Уменьшение содержания Mn отмечено и в варианте 4 внесения расчетных доз NPK под урожайность 4 т/га. Следовательно, усиление питания козлятника часто приводило к накоплению в его биомассе металлов, в том числе биогенных.

Величины КБП отдельных ТМ изменялись под действием удобрений. Они повышались для Pb, Zn, Cu в сене 1-го укоса при внесении РК-удобрений в запас, в сене 2-го укоса – при ежегодном применении их высоких доз (вар. 3) проявилась гипераккумуляция Cu – КБП $>1,0$. При использовании повышенных доз NPK-удобрений (вар. 4) отмечено значительное повышение КБП Cr для сена 1-го укоса, для сена 2-го укоса – КБП Mn.

Воздействие синтетических регуляторов роста растений на накопление ТМ растениями огурца изучали в вегетативных частях и плодах огурца вследствие обработки семян и/или растений цитокининовыми препаратами, активно влияющими на обменные процессы. При действии тиадазурона в плодах снижалось содержание Zn и Cu, особенно при двойной обработке (табл. 5). В то же время содержание ТМ в стеблях и листьях при обработке семян практически не изменялось, а в случае обработки растений несколько возрастало.

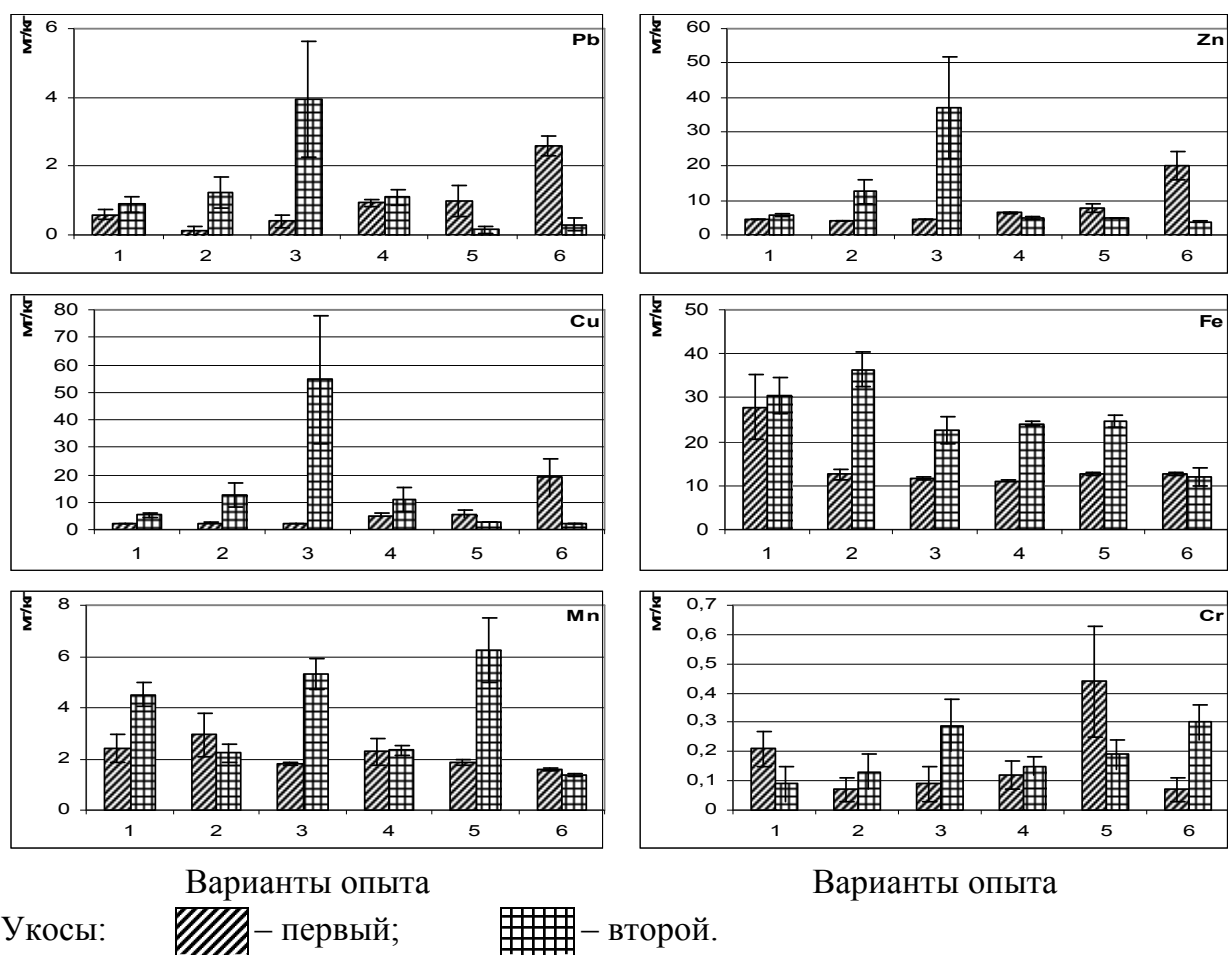


Рис. 4 – Содержание ТМ в биомассе козлятника, мг/кг сухой массы. **Обозначение:** Варианты: 1. Контроль; 2. P₂₄₉K₁₉₁; 3. P₅₆₇K₆₇₅; 4. N₁₅₂P₂₅₅K₁₉₀; 5. N₂₃₂P₅₃₂K₅₈₀; 6. P₁₄₄K₂₇₉ в запас.

Цитодеф вызвал снижение содержания некоторых ТМ (Zn, Pb, Cu, Fe, Mn) в плодах, наиболее выраженное при замачивании семян и двойной обработке. В корнях растений огурца, обработанных цитодефом, уменьшалось содержание ТМ и усиливалась миграция в надземную часть, но в листьях изменения были менее значительными.

Обработка привела к изменению барьерных функций на границе корень/стебель (барьер 1) и стебель/плод (барьер 2) в сторону улучшения обеспечения физиологических потребностей растений биофильными металлами и экологической чистоты плодов, при этом происходило увеличение БК (барьерного коэффициента) для Pb (в первом барьере) и для Cr (во втором). Выявлены различия в действии препаратов: тидиазурон существенно снижал накопление Cu и Zn в плодах, тогда как цитодеф – Cu и иногда Pb, Fe, Mn, Ni.

Влияние обработки семян и/или растений огурца раствором тиадазурона (10^{-8} М) на содержание ТМ в плодах, мг/кг сырой массы

ТМ	Варианты (<i>по n=12</i>)			
	I	II	III	IV
Zn	$0,17 \pm 0,02$	$0,20 \pm 0,01$	$0,13 \pm 0,01$	$0,12 \pm 0,01$
	IV	III; IV	II	I; II
Cu	$0,41 \pm 0,03$	$0,31 \pm 0,02$	$0,20 \pm 0,02$	$0,19 \pm 0,02$
	II; III; IV	I; III; IV	I; II	I; II
Pb	$0,25 \pm 0,04$	$0,26 \pm 0,03$	$0,31 \pm 0,04$	$0,26 \pm 0,03$
Fe	$0,38 \pm 0,05$	$0,66 \pm 0,08$	$0,56 \pm 0,07$	$0,35 \pm 0,07$
	II	I; IV		II
Mn	$0,041 \pm 0,003$	$0,047 \pm 0,004$	$0,049 \pm 0,006$	$0,038 \pm 0,004$
Cr	$0,026 \pm 0,003$	$0,030 \pm 0,002$	$0,027 \pm 0,003$	$0,023 \pm 0,002$
		IV		II

Обозначения: варианты опыта: 1 – контроль, 2 – обработка семян, 3 – обработка растений в фазу 3-х листьев, 4 – обработка семян + обработка растений в фазу 3-х листьев; $n=12$ – объем выборки; *в числителе:* величина результата анализа; *в знаменателе:* **I–IV** – наличие римских цифр указывает на значимые различия ($P=0,05$) с другими вариантами.

Заключение

В результате проведенного исследования по изучению особенностей распределения ТМ в почвах агропочвенных районов выявлено, что концентрации Pb, Cu и Mn в почвах значимо снижались от района I к району IV. Также снижалось и количество парных положительных корреляций между ТМ в почве. Превышения мирового кларка ТМ отмечены для районов: I-го (Pb, Mn, Cr), II-го (Pb) III-го (Co) и IV-го (Co, Fe). Наибольшее количество сопряжений имели Cr, Cu, Ni, Co. Правостороннюю асимметрию рядов величин содержания (район I-Cu, III-Cu, Co, Ni, Cr), максимальные интервал изменений содержания и коэффициенты варьирования (район I-Cu, Cr; районы III и IV-Ni) объясняют поступлением техногенных выбросов (Буданцев, Уваров, Цыплаков, 2011). Следовательно, в районе I имеются источники загрязнения Cu и Cr, а в районах III и IV – Ni.

При изучении природных вод агропочвенных районов установлено, что усиленная миграция ТМ, например Cu в воды района I, происходит, вероятно, из-за легкого гранулометрического состава почв района, низкого содержания гумуса и правосторонней асимметрии вариационного ряда концентраций воды. Привнесенный элемент долго переходит в формы, типичные для зональных почв и, соответственно, долго остается миграционно активным. Высокие концентрации Mn в поверхностных водах района II соответствовали его высокому уровню в почвах, а у Mn и Ni в районах III и IV.

При изучении результатов исследований содержания ТМ в компонентах агроценозов агропочвенных районов видно, что внутрипрофильная миграция Cu и Mn в

районе I преобладает над их переходом в растения. В районах III и IV Pb активнее мигрирует в сопредельные системы. Высокие содержания ТМ в зерне и в почвах не всегда соответствуют друг другу. Так, содержание Pb в почвах достоверно неодинаково по всем районам, а по зерну между районами III и IV – нет, концентрации Cu в зерне из районов III и IV различаются, а в почвах – нет. Различия концентраций Mn в почвах значимы по районам, а по зерну – нет. За увеличением концентрации ТМ в почвах не всегда следует их накопление в зерне, что требует дополнительного изучения. Так, продуктивная часть растений из разных районов имела низкую концентрацию Co при его высоком содержании в почве. Повышенное содержание Ni, Cu, Co, Fe, Mn в семенах культурных растений было выявлено как при наличии (Ni, Cu, Co), так и при отсутствии (Fe, Mn, Cu) антропогенной составляющей в валовом уровне металлов в почве.

Агрохимикаты вызывали модификацию накопления ТМ в вегетативной и генеративной частях растений. Так, обработка растений огурца синтетическими цитокининами привела к увеличению задержки (барьерного коэффициента) для Pb на барьере корень/стебель и для Cr на барьере стебель/плод. Разработка подобных приемов позволит осуществлять регуляцию поступления эссенциальных и токсичных ТМ в растения (части растений).

Выводы

1. Максимум валового содержания Pb, Zn, Cu, Mn и Cr выявлен в почвах агропочвенного района I; Ni, Co, Fe – района IV; минимумы Cu и Mn обнаружены в почвах района III, Cr – IV. Установлены значимые отличия между районами. Выявлены превышения кларков концентрации ТМ в районах, причем K_c более 1,5 был для района I по Pb. Показатель Z_c совпадает с $Z_{одк}$ по районам: $I > IV > III > II$. Значения обоих видов суммарных коэффициентов (7,27 и 5,55) указывают на невысокий уровень антропогенного загрязнения. По валовому содержанию ТМ (кроме Mn) почвы РМ расположены в следующем порядке: пойменная > черноземная > дерново-подзолистая > темно-серая лесная. За вегетационный период уровень ТМ в них снижался в пахотном и/или подпахотном слоях.

Уровень ТМ в природных водах агропочвенных районов определяется как видами вод, так и почвенными особенностями районов. Выявлено значимо ($P=0,05$) повышенное содержание ТМ в поверхностных водах: Cu (район I), Pb (район IV), Zn и Ni (район IV), Zn (район V). В подземных водах отмечена высокая концентрация Pb, Ni и Mn (район III), Zn и Ni (район IV, колодцы), Fe и Mn (IV и V, артскважины). Количество превышений ПДК питьевой воды по Pb, Fe и Mn возросло в ряду: артскважины < колодцы < реки < водоемы.

Аккумуляция ТМ урожаем культурных растений была не пропорциональной содержанию ТМ в почве. Повышенное поглощение в семенах отмечено для эссенциальных Zn и Cu, в отличие от неэссенциальных Pb и Cr. Максимальным уровнем ТМ выделялись: в районе I – горох (Cu), озимая пшеница и ячмень (Ni); в районе III – овес (все металлы); в районе IV – горох (Pb), озимая пшеница (все ТМ, кроме Pb).

Миграционная активность ТМ по компонентам биогеоценозов в агропочвенных районах различалась. Повышенная концентрация ТМ в почвах не всегда сопровождалась высоким содержанием ТМ в воде и зерне

На территориях, подвергшихся загрязнению в результате аварии на ЧАЭС, выявлена тенденция увеличения содержания, а также КП ^{137}Cs и КП ^{90}Sr . Установлены региональные КП РН из разных типов почв в растения.

2. Агрохимикаты влияли на транслокацию ТМ в сопредельных средах. При длительном использовании минеральных удобрений и средств защиты растений выявлена тенденция к накоплению в пахотном слое чернозема выщелоченного тяжелосуглинистого Pb, Cu, Co, Mn, Cr и повышение миграционной активности Ni, Zn, Cu. Содержание ТМ в лизиметрической воде при этом изменялось неоднозначно.

Влияние агрохимикатов на поглощение и накопление ТМ культурными растениями было видоспецифичным и зависело от количества вносимых препаратов. В биомассе козлятника восточного высокие дозы удобрений повышали содержание ТМ и увеличивали КБП для ряда ТМ. Высокие дозы удобрений и средства защиты растений снижали содержание ТМ в клубнях картофеля (за исключением Cr) и поглощение Pb и Fe зерном проса; умеренные дозы удобрений увеличивали поглощение просом Zn, Ni и другими ТМ картофелем.

Обработка растений огурца синтетическими цитокининовыми препаратами тидиазуроном и цитодефом снижала содержание ТМ в корнях и в плодах и повышала его в надземных вегетативных органах.

3. Дикорастущие травянистые и древесные растения проявляли видоспецифичное накопление ТМ в подземных и надземных органах. Среди травянистых видов максимальное содержание ТМ выявлено в подземных органах *A. millefolium* L., а в надземных – *A. absinthium* L.

Содержание ТМ в листовом аппарате древесных растений ботанического сада МГУ им. Н. П. Огарева и в почве под ними значительно варьировало. Древесные растения активно регулировали поглощение ТМ. По величине КБП для ТМ лидирующую ранговую позицию занимают тополь бальзамический, робиния лжеакация, боярышник алтайский, сосна обыкновенная, туя западная. Девять видов проявили гипераккумулирующие свойства (КБП > 1,0).

4. Древесные растения изменяли содержание и подвижность ТМ в почве, особенно для Cd. Установлены различия в корреляции содержания металлов в листовом аппарате и КРФ и ПФ в почве аборигенных и интродуцированных растений.

Список работ, опубликованных по теме диссертации

А – публикации в печатных изданиях, рекомендованных перечнем ВАК РФ

1. Ахметов Ш.И., Смолин Н.В., **Пугаев С.В.** Влияние средств химизации на содержание тяжелых металлов в почве, растениях и промывных водах // Интеграция образования. – 2000. – № 2. – С. 57–60.

2. Самкаева Л.Т., Ревин В.В., Рыбин Ю.И., Кулагин А.Н., Новикова О.В., **С.В. Пугаев.** Изучение аккумуляции тяжелых металлов растениями // Биотехнология. – 2001. – № 1. – С. 54–59.

3. Лукаткин А.С., Жамгарян Ю.А., **Пугаев С.В.** Влияние тидиазурона на продуктивность, холодоустойчивость и качество плодов огурца // *Агрохимия*. – 2003. – № 7. – С. 52–59.

4. Лукаткин А.С., Кирдянова И.А., **Пугаев С.В.** Влияние препарата цитодеф на холодоустойчивость, урожайность и качество плодов огурца // *Агрохимия*. – 2005. – № 1. – С. 44–52.

5. **Пугаев С.В.**, Еряшев А.П. Влияние минеральных удобрений на накопление тяжелых металлов козлятником восточным (*Galega orientalis* Lam.) на черноземе выщелоченном тяжелосуглинистом // *Агрохимия*. – 2013. – № 6. – С. 60–68.

6. **Пугаев С.В.**, Лукаткин А.С. Взаимное влияние почвы и дендрофлоры (лиственных деревьев) на накопление тяжелых металлов на примере ботанического сада Мордовского государственного университета им. Н.П. Огарева // *Агрохимия*. – 2013. – № 9. – С. 76–87.

Б – Выборка публикаций из других печатных изданий:

1. **Пугаев С.В.**, Мандров Н.П., Сунайкин В.Н. Эколого-гигиеническое значение коэффициентов перехода стронция-90 и тяжелых металлов // *Актуальные вопросы естественных и технических наук*. – Саранск, СВМО, 2000. – С. 241–242.

2. Ахметов Ш.И., Смолин Н.В., **Пугаев С.В.** Миграция тяжелых металлов в системе «Почва-растение-грунтовые воды» // *Миграция тяжелых металлов и радионуклидов в звене почва-растение-(корм, рацион)-животное-продукт животноводства-человек*. Тез. докл. III Междунар. конф. 26–28 марта 2001 г. – Великий Новгород, 2001. – С. 88–91.

3. Лукаткин А.С., **Пугаев С.В.**, Жамгарян Ю.А., Кирдянова И.А., Башмаков Д.И. Модификация поглощения и накопления тяжелых металлов в растениях и урожае биологически активными веществами // *Миграция тяжелых металлов и радионуклидов в звене почва-растение (корм, рацион)-животное-продукт животноводства-человек*: Тез. докл. III Междунар. конф. 26–28 марта 2001 г. – Великий Новгород, 2001. – С. 121–126.

4. Лукаткин А.С., **Пугаев С.В.**, Башмаков Д.И., Кирдянова И.А., Кипайкина Н.В. Факторы снижения содержания тяжелых металлов в растениях и почвах // *Проблемы изучения и охраны биоразнообразия и природных ландшафтов Европы*: Мат-лы Междунар. симп. – 28–29 мая 2001 г. – Пенза, 2001. – С. 252–255.

5. Лукаткин А.С., **Пугаев С.В.**, Пугаев А.В., Кипайкина Н.В. Синтетические регуляторы роста как индукторы холодоустойчивости и продуктивности растений // *Регуляторы роста и развития растений в биотехнологиях*: Тез. докл. VI Междунар. конф. 26–28 июня 2001 г. – М., Изд-во ТСХА, 2001. – С. 108–109.

6. Башмаков Д.И., Лукаткин А.С., **Пугаев С.В.**, Кипайкина Н.В., Рудаков Д.В. Использование дикорастущих трав для фитоэкстракции тяжелых металлов в условиях промышленного загрязнения // *Тяжелые металлы, радионуклиды и элементы-биофилы в окружающей среде*: Докл. Междунар. научно-практ. конф. – Т. 2. – Семипалатинск, 2002. – С. 530–535.

7. **Пугаев С.В.**, Апарин С.В., Филипов В.А., Лукаткин А.С. Накопление тяжелых металлов в листьях аборигенных и интродуцированных кустарников ботанического сада Мордовского университета // *Биологическое разнообразие северных экосистем в*

условиях изменяющегося климата: Тез. докл. Междунар. научн. конф., Апатиты, 10–12 июня 2009 г. – Апатиты: «К&М», 2009. – С. 73–74.

8. Лукаткин А.С., *Пугаев С.В.*, Апарин С.В. Накопление тяжелых металлов кустарниками, используемыми в городском озеленении // Проблемы озеленения крупных городов: Мат-лы XIII Междунар. научно-практ. конф. – М., 2010. С. 148–153.

9. Лукаткин А.С., Башмаков Д.И., Колмыкова Т.С., *Пугаев С.В.* Модификация ответа растений на стрессы действием препаратов с цитокининовой активностью // Физиолого-биохимические основы продукционного процесса у культивируемых растений: Мат-лы докл. Всерос. симп. с междунар. участием. – Саратов: Саратовский источник, 2010. – С. 54–56.

10. *Пугаев С.В.* Содержание свинца, меди и марганца в компонентах антропогенно измененных биогеоценозов // Российский научный мир. –2013. –Т. 1. Вып. 1 [1(1)'2013.]. – С. 43–48.

11. Лукаткин А.С., *Пугаев С.В.* Аккумуляция тяжелых металлов листовыми деревьями ботанического сада Мордовского университета // Роль ботаничних садів і дендропарків у збереженні та збагаченні біологічного різноманіття урбанізованих територій: Матеріали міжнародної наукової конференції (Київ, 28–31 травня 2013 р.) – Гол. ред. В.Г. Радченко. – Київ: НЦЕБМ НАН України, ПАТ «Вінон», 2013. – С. 236–238.

Патентные материалы:

1. Лукаткин А.С., *Пугаев С.В.* Способ обработки растений // Патент на изобретение РФ №2218691, Кл. 7 А 01 С 1/00, А 01 N 25/00, А 01 G 7/00. Бюлл. № 35. – 2003 г.

Список сокращений

ААБ рН-4,8 – аммонийно-ацетатный буфер с рН 4,8

ААМ – атомно-абсорбционный метод

БК – барьерный коэффициент

КБП – коэффициент биологического поглощения

$K_{\text{одк}}$ – относительный концентрационный коэффициент на основе фоновой величины ОДК

K_c – кларк концентрации металла относительно земной коры

КП – коэффициент перехода

КРФ – кислоторастворимая форма

МРФ – метод рентгеновской флуориметрии

ОДК – ориентировочно-допустимая концентрация

ПДК – предельно-допустимая концентрация

ПФ – подвижная форма

РН – радионуклиды

РМ – Республика Мордовия

СП – степень подвижности металлов в почве

ТМ – тяжелые металлы

V – коэффициент вариации содержания металлов

Z – суммарный показатель загрязнения почвы.

Подписано в печать 20.11.13. Усл. печ. л. 1.
Тираж 150 экз. Заказ № 1607.

Типография Издательства Мордовского университета
430005. Саранск, ул. Советская, 24