

СЕЛЮКОВА Светлана Викторовна

**ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ СВИНЦА,
КАДМИЯ, РТУТИ И МЫШЬЯКА В АГРОЭКОСИСТЕМАХ
ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОГО
РАЙОНА РОССИИ**

Специальность: 03.02.08 – Экология (биология)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Белгород – 2019

Работа выполнена на кафедре природопользования и земельного кадастра Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»

Научный руководитель: **Лукин Сергей Викторович**,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заслуженный деятель науки РФ, профессор кафедры природопользования и земельного кадастра НИУ «БелГУ», директор ФГБУ «ЦАС «Белгородский»

Официальные оппоненты: **Семенов Вячеслав Михайлович**,
доктор биологических наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории почвенных циклов азота и углерода Института физико-химических и биологических проблем почвоведения Российской академии наук – обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Федеральный исследовательский центр «Пушкинский научный центр биологических исследований Российской академии наук»;

Касатиков Виктор Александрович,
доктор сельскохозяйственных наук, профессор, ведущий научный сотрудник, заведующий группой биотехнологических методов утилизации органических отходов Всероссийский научно-исследовательский институт органических удобрений и торфа – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Верхневолжский федеральный аграрный научный центр»

Ведущая организация: **Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»**

Защита состоится «05» июня 2019 г. в 15:00 часов на заседании диссертационного совета Д 220.043.03 на базе ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» по адресу: 127550, Москва, ул. Прянишникова, д. 19, тел/факс: 8 (499) 976-21-84.

С диссертацией можно ознакомиться в Центральной научной библиотеке имени Н.И. Железнова ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева» и на сайте Университета www.timacad.ru.

Автореферат разослан « » _____ 2019 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
кандидат биологических наук, доцент

О.В. Селицкая

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Современная экологическая ситуация как в глобальном, так и в региональных масштабах обостряется, поэтому человечество вынуждено искать эффективные меры устойчивого развития биосферы. Одним из наиболее сильных факторов нарушения устойчивого функционирования агроэкосистем является поступление в них тяжелых металлов (ТМ) (Щербаков, Васенёв, 1996; Соколов, Черников, 1999; Черных и др., 1999; Kabata-Pendias, 2011; Лукин, 2016). С прикладной точки зрения наиболее важными представителями группы тяжелых металлов считаются высокоопасные элементы: свинец, кадмий, ртуть и мышьяк, содержание которых нормируется как в почве, так и в пищевой продукции.

Содержание тяжелых металлов в почве – важнейший показатель, характеризующий санитарно-гигиеническую обстановку, так как накопление в почвах их избыточных концентраций представляет прямую угрозу экологической безопасности получаемой сельскохозяйственной продукции (Лукин, 2007). Растения, поглощая из почвы тяжелые металлы, аккумулируют их в тканях, являясь, таким образом, промежуточным звеном в цепи: «почва – растение – животное – человек». Поэтому контроль за накоплением тяжелых металлов в агроэкосистемах является важным элементом программы государственного агроэкологического мониторинга, результаты которого используются для разработки экологически безопасных систем удобрения сельскохозяйственных культур.

Степень разработанности темы. Проблема содержания тяжелых металлов в почвах и растениеводческой продукции рассмотрена в многочисленных работах отечественных и зарубежных авторов (Зырин, Обухов, 1983; Алексеев, 1987; Минеев, 1990; Ильин, 1991; Щербаков, Васенёв, 1996; Добровольский, 1997; Соколов, Черников, 1999; Черных и др., 1999; Kabata-Pendias, 2011; Лукин, 2016). Однако сведений о распределении тяжелых металлов по генетическим горизонтам черноземов типичных лесостепной зоны и черноземов обыкновенных степной зоны юго-западной части ЦЧР, а также достоверных

содержаний свинца, кадмия, ртути и мышьяка в основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур и закономерностях их транслокации в системе почва – растения, приведенных в данной диссертационной работе, в научной литературе недостаточно.

Цель и задачи исследования. Цель исследований заключалась в проведении экологической оценки содержания тяжелых металлов (Pb, Cd, Hg, As) в агроэкосистемах юго-западной части ЦЧР России (на примере Белгородской области). Для достижения цели нашего исследования были решены следующие задачи:

1. Изучены закономерности распределения тяжелых металлов в черноземах типичных лесостепной зоны и черноземах обыкновенных степной зоны ЦЧР.

2. Проведена экологическая оценка валового содержания свинца, кадмия, ртути, мышьяка и подвижных форм свинца и кадмия в изучаемых почвах.

3. Установлены размеры накопления ТМ в сельскохозяйственных культурах (кукуруза, подсолнечник, соя, люцерна, эспарцет, клевер) и растительном покрове естественных экосистем.

4. Установлены коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов сельскохозяйственными культурами и степным разнотравьем.

5. Оценено содержание свинца, кадмия, ртути и мышьяка в органических и минеральных удобрениях, мелиорантах.

6. Изучены закономерности биологического круговорота ТМ в агроэкосистемах.

Объект исследования – агроэкосистемы и естественные экосистемы юго-западной части ЦЧР.

Предмет исследования – оценка источников поступления и закономерностей распределения тяжелых металлов в агроэкосистемах.

Научная новизна. Получены новые знания, характеризующие закономерности распределения тяжелых металлов в черноземах типичных лесостепной зоны и черноземах обыкновенных степной зоны. Изучены источники поступле-

ния и рассчитан хозяйственный баланс свинца (-21,13 г/га), кадмия (-0,29 г/га), ртути (-0,03 г/га), мышьяка (-5,68 г/га) для агроэкосистем Белгородской области. Уточнены уровни содержания тяжелых металлов в растениях агроэкосистем и естественных экосистем (Pb – 0,22-2,00, Cd – 0,014-0,086, Hg – 0,0028-0,0126, As – 0,019-0,027 мг/кг). Рассчитаны коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов сельскохозяйственными культурами и степным разнотравьем (Pb – 0,2-2,7, Cd – 0,5-10,8, Hg – 1,7-10,4, As – 0,07-0,34).

Теоретическая и практическая значимость работы. Полученные результаты исследования позволяют пополнить знания о содержании тяжелых металлов в черноземах, сформированных в разных почвенных зонах, растениеводческой продукции и их взаимосвязи, а также о влиянии человека на агроценозы, что, безусловно, важно для научной деятельности в области экологии.

Исследования проводились в рамках реализации государственного агро-экологического мониторинга почв, проводимого агрохимической службой России. Результаты исследования могут использоваться в учебном процессе для студентов учреждений высшего и среднего профессионального образования, находящихся на территории Центрально-Черноземного района. Результаты могут быть использованы для обоснования экологически безопасных норм внесения органических удобрений.

Методология и методы диссертационного исследования. В рамках диссертационной работы были проведены: лабораторный химический анализ образцов почв, основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур, математическая и статистическая обработка полученных результатов испытаний. В ходе выполнения диссертационного исследования применялись общенаучные теоретические и эмпирические методы, такие как наблюдение, сравнение, эксперимент, синтез, анализ, обобщение, индукция.

Защищаемые положения:

1. Степень биологического поглощения элементов растениями напрямую влияет на распределение тяжелых металлов по генетическим горизонтам почвенного профиля. Для элементов, обладающих наиболее высокой интенсивно-

стью поглощения растениями, характерна большая биогенная аккумуляция в гумусовом горизонте.

2. Основными источниками поступления свинца, кадмия, ртути и мышьяка в агроэкосистемы являются применяемые органические удобрения и мелиоранты. Но в связи с высокой эродированностью почв Белгородской области, потери тяжелых металлов со смываемой почвой больше, чем приход с агрохимикатами. В результате для исследуемых элементов сложился отрицательный хозяйственный баланс.

Степень достоверности результатов исследования. Достоверность результатов подтверждается проведением химического анализа образцов почв и сельскохозяйственных культур по общепринятым действующим в РФ методикам в аккредитованной испытательной лаборатории, исследованием множественных почвенных разрезов и формированием репрезентативных статистических выборок. Для получения достоверных результатов испытаний проведена математическая и статистическая обработка данных: рассчитаны доверительные интервалы для средних значений и коэффициенты вариации.

Апробация результатов исследования. Промежуточные результаты исследований были представлены на Всероссийской научно-практической конференции «Современное состояние почвенного покрова, сохранение и воспроизводство плодородия почв» (Махачкала, 2018), Международной научно-практической конференции «Современные тенденции развития науки и технологий» (Белгород, 2016, 2017), Международной научно-практической конференции «Современные проблемы сельскохозяйственных наук в мире» (Казань, 2016), Международной научно-практической конференции «Наука, образование, общество» (Тамбов, 2016), Международной научно-практической конференции «Наука и образование в социокультурном пространстве современного общества» (Смоленск, 2016).

Личный вклад автора. Автор принимал непосредственное участие в проведении лабораторных работ по химическому анализу проб почв, растений и удобрений. Автором проведены статистическая обработка полученных данных,

анализ результатов исследования и литературных источников по теме исследования, а также подготовлены и опубликованы статьи.

Публикации. По материалам диссертационного исследования опубликовано 13 работ, в том числе 6 – в рецензируемых журналах из списка ВАК Российской Федерации.

Структура и объём диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, приложений, списка литературы, включающего в себя 172 наименования, в том числе 37 – на иностранных языках. Текст диссертации изложен на 133 страницах, содержит 33 таблицы, 4 рисунка, 18 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

ГЛАВА 1 ТЯЖЕЛЫЕ МЕТАЛЛЫ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ: ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ РОЛЬ, СОДЕРЖАНИЕ, ИСТОЧНИКИ ПОСТУПЛЕНИЯ, НОРМИРОВАНИЕ (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Проанализированы результаты научных исследований, характеризующие закономерности содержания в почвах и растениях, а также физиологическую роль свинца, кадмия, ртути и мышьяка. Рассмотрены вопросы загрязнения почв данными элементами, закономерности их транслокации в системе почва – растение (Виноградов, 1957; Алексеев, 1987; Минеев, 1990; Ильин, 1991; Щербаков, Васенёв, 1996; Соколов, Черников, 1999; Черных и др., 1999; Аканова, 2001; Kabata-Pendias, 2011). Проанализированы проблемы поступления тяжёлых металлов в агроэкосистемы и их нормирования в почвах и продукции растениеводства (Обухов и др., 1980; Важенин, 1982; Касатиков и др., 2015; Лукин, 2016).

ГЛАВА 2 УСЛОВИЯ И МЕТОДЫ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

В работе использованы данные локального агроэкологического мониторинга, ежегодно проводимого на реперных участках Белгородской области. Данные участки заложены на пахотных почвах в 20 районах области и пред-

ставляют собой поле или часть поля площадью 4-40 га. Почвенный покров реперных участков представлен чернозёмом выщелоченным. В слое 0-20 см среднее содержание подвижных форм фосфора по Чирикову составляло 139, калия – 119 мг/кг. Сумма поглощенных оснований составляла 39,8 смоль/кг почвы, pH_{KCl} – 5,3, pH_{H_2O} – 6,4. Содержание органического вещества по Тюрину – 5,3%. При выполнении работы было отобрано и проанализировано по 20 образцов широко распространенных в Белгородской области сельскохозяйственных культур (кукурузы, сои, подсолнечника, люцерны, эспарцета, клевера).

В рамках изучения закономерностей распределения ТМ проводились исследования 22 разрезов чернозема типичного тяжелосуглинистого, расположенного в Среднерусской лесостепной провинции, и 22 разрезов чернозема обыкновенного легкого глинистого, находящегося в Среднерусской провинции степных черноземов. Среднее содержание физической глины в горизонте Апах чернозема типичного составляло 56,8%, чернозема обыкновенного – 72,5%. Средняя мощность горизонтов почвенного профиля, содержание органического вещества почвы и значения pH_{H_2O} представлены в таблице 1.

Таблица 1

Среднее содержание органического вещества и pH_{H_2O} в профиле чернозема типичного и обыкновенного

Генетический горизонт	Средняя мощность горизонта, см	Органическое вещество, %	pH_{H_2O} , ед. pH
Чернозем типичный			
Апах	0-25	5,6	6,7
А	26-36	5,0	6,9
АВ	37-90	3,6	7,5
В _{Ca}	91-111	2,1	8,0
ВС _{Ca}	112-134	1,3	8,1
С _{Ca}	> 135	1,0	8,1
Чернозем обыкновенный			
Апах	0-25	5,2	7,8
А	26-43	4,8	7,9
АВ	44-72	4,1	7,9
В _{Ca}	73-90	2,9	8,1
ВС _{Ca}	91-124	1,9	8,3
С _{Ca}	> 125	1,6	8,3

Лабораторные исследования проводились в аккредитованной испытательной лаборатории ФГБУ «Центр агрохимической службы «Белгородский» по общепринятым методикам. Содержание свинца, кадмия и ртути в почвах, удобрениях и сельскохозяйственных культурах определялось методом беспламенной атомно-абсорбционной спектрометрии. Мышьяк в исследуемых объектах определялся фотометрическим методом. Для извлечения подвижных форм кадмия и свинца из почвы использовался ацетатно-аммонийный буферный раствор с pH 4,8.

При статистической обработке полученных результатов испытаний проводились вычисления значений средних ($\bar{x}$), максимальных и минимальных (lim) концентраций элементов и расчеты доверительных интервалов для средних значений ($\bar{x} \pm t_{05} S_{\bar{x}}$) и коэффициентов вариации (V, %) (Доспехов, 1979).

Для выявления избирательности поглощения химических элементов растениями применялся коэффициент биологического поглощения (КБП), представляющий собой частное от деления количества элементов в золе растений на его валовое содержание в почве. При расчете КБП учитывалось, что содержание золы в абсолютно сухом веществе зерна и соломы кукурузы составляет 1,5 и 7,3 % соответственно, семян и стеблей подсолнечника – 2,5 и 5,1 %, бобов и соломы сои – 5,2 и 5,6 %, люцерны – 8,8 %, эспарцета – 5,6 %, клевера – 8,5 %, степного разнотравья – 6,4 %. КБП для степного разнотравья рассчитывался с учетом валового содержания ТМ в целинном типичном чернозёме участка «Ямская степь» заповедника «Белогорье».

Вынос элементов рассчитывался исходя из средней урожайности основной и побочной продукции кукурузы, составляющей соответственно 5,0 и 10 т/га, сои – 1,6 и 1,9 т/га, подсолнечника – 2,0 и 8,0 т/га и многолетних трав (на примере сена люцерны) – 2,5 т/га.

При балансовых расчетах использовались данные органов государственной статистики по Белгородской области о внесении органических и минеральных удобрений, мелиорантов, посевных площадях и валовых сборах сельскохозяйственных культур за 2010-2014 гг.

ГЛАВА 3 АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В ПОЧВАХ

В процессе изучения закономерностей распределения ТМ в почвах установлено, что в горизонте Апах чернозема типичного содержится в среднем 10,3 мг/кг валового свинца, 0,23 мг/кг кадмия, 0,022 мг/кг ртути, 4,18 мг/кг мышьяка, в горизонте С_{Ca} содержание этих элементов составляет соответственно 8,2, 0,14, 0,009, 5,75 мг/кг (табл. 2).

Таблица 2

Вариационно-статистические показатели валового содержания свинца, кадмия, ртути, мышьяка в профиле чернозема типичного, мг/кг

Генетический горизонт	$\bar{x} \pm t_{05} S_{\bar{x}}$	lim	V, %
Свинец			
Апах	10,3 ± 0,6	7,7 – 12,5	12,8
А	9,7 ± 0,6	7,2 – 11,8	14,3
АВ	9,1 ± 0,6	7,0 – 11,4	14,9
В _{Ca}	8,4 ± 0,6	5,5 – 10,3	16,6
ВС _{Ca}	8,3 ± 0,5	6,3 – 10,1	14,4
С _{Ca}	8,2 ± 0,6	4,9 – 10,1	17,1
Кадмий			
Апах	0,23 ± 0,02	0,15 – 0,35	22,0
А	0,21 ± 0,03	0,13 – 0,37	29,0
АВ	0,18 ± 0,02	0,12 – 0,27	20,6
В _{Ca}	0,16 ± 0,02	0,08 – 0,29	31,3
ВС _{Ca}	0,15 ± 0,02	0,09 – 0,25	28,5
С _{Ca}	0,14 ± 0,02	0,07 – 0,23	30,0
Ртуть			
Апах	0,022 ± 0,002	0,018 – 0,035	20,3
А	0,018 ± 0,002	0,008 – 0,030	29,3
АВ	0,014 ± 0,001	0,010 – 0,022	21,0
В _{Ca}	0,012 ± 0,001	0,008 – 0,020	24,0
ВС _{Ca}	0,010 ± 0,001	0,006 – 0,017	24,7
С _{Ca}	0,009 ± 0,001	0,005 – 0,013	20,9
Мышьяк			
Апах	4,18 ± 0,38	3,16 – 5,84	20,7
А	4,07 ± 0,43	2,35 – 5,98	23,9
АВ	4,74 ± 0,47	3,03 – 6,37	22,2
В _{Ca}	5,00 ± 0,43	3,50 – 6,80	19,5
ВС _{Ca}	5,48 ± 0,38	3,71 – 7,37	15,7
С _{Ca}	5,75 ± 0,46	3,43 – 8,12	18,1

В пахотном горизонте чернозема обыкновенного валовое содержание свинца составляет 11,2, кадмия – 0,35, ртути – 0,023, мышьяка – 5,48 мг/кг (табл. 3). В горизонте C_{Ca} содержится свинца, кадмия, ртути и мышьяка соответственно 8,9, 0,27, 0,014, 5,96 мг/кг.

Таблица 3

Вариационно-статистические показатели валового содержания свинца, кадмия, ртути, мышьяка в профиле чернозема обыкновенного, мг/кг

Генетический горизонт	$\bar{x} \pm t_{05} s_{\bar{x}}$	lim	V, %
Свинец			
Апах	11,2 ± 0,4	9,5 – 13,0	8,5
А	10,9 ± 0,4	9,3 – 13,4	8,8
АВ	10,3 ± 0,5	6,3 – 11,9	11,2
В _{Ca}	9,8 ± 0,5	7,7 – 11,2	10,7
ВС _{Ca}	9,0 ± 0,4	6,8 – 10,5	10,7
С _{Ca}	8,9 ± 0,5	6,5 – 11,2	11,7
Кадмий			
Апах	0,35 ± 0,02	0,27 – 0,41	10,4
А	0,32 ± 0,02	0,26 – 0,40	12,0
АВ	0,29 ± 0,02	0,19 – 0,37	16,7
В _{Ca}	0,28 ± 0,02	0,20 – 0,35	15,2
ВС _{Ca}	0,27 ± 0,02	0,18 – 0,34	16,3
С _{Ca}	0,27 ± 0,02	0,17 – 0,35	16,3
Ртуть			
Апах	0,023 ± 0,002	0,015 – 0,035	23,4
А	0,021 ± 0,003	0,013 – 0,032	28,5
АВ	0,019 ± 0,003	0,010 – 0,030	31,6
В _{Ca}	0,018 ± 0,003	0,008 – 0,028	35,0
ВС _{Ca}	0,015 ± 0,002	0,007 – 0,027	35,6
С _{Ca}	0,014 ± 0,002	0,006 – 0,027	36,8
Мышьяк			
Апах	5,48 ± 0,34	4,10 – 7,13	14,2
А	5,56 ± 0,27	4,52 – 6,47	11,1
АВ	5,68 ± 0,23	4,82 – 6,94	9,3
В _{Ca}	5,77 ± 0,28	4,79 – 7,13	10,9
ВС _{Ca}	5,79 ± 0,33	4,31 – 7,18	12,9
С _{Ca}	5,96 ± 0,33	5,04 – 7,95	12,5

Наблюдаемое достоверное уменьшение валового содержания свинца, кадмия и ртути с глубиной объясняется их биофильным накоплением в гумусовом горизонте с образованием нерастворимых гуматов. Максимальные количе-

ства мышьяка, в отличие от остальных изучаемых элементов, обнаруживаются в материнской породе, поскольку для него биофильная аккумуляция не характерна.

В почвах реперных участков концентрация свинца в пахотном слое составляет 13,1, кадмия – 0,32, мышьяка – 3,76, ртути – 0,023 мг/кг, а закономерности распределения по слоям почвенного профиля аналогичны рассмотренным выше (рис. 1).

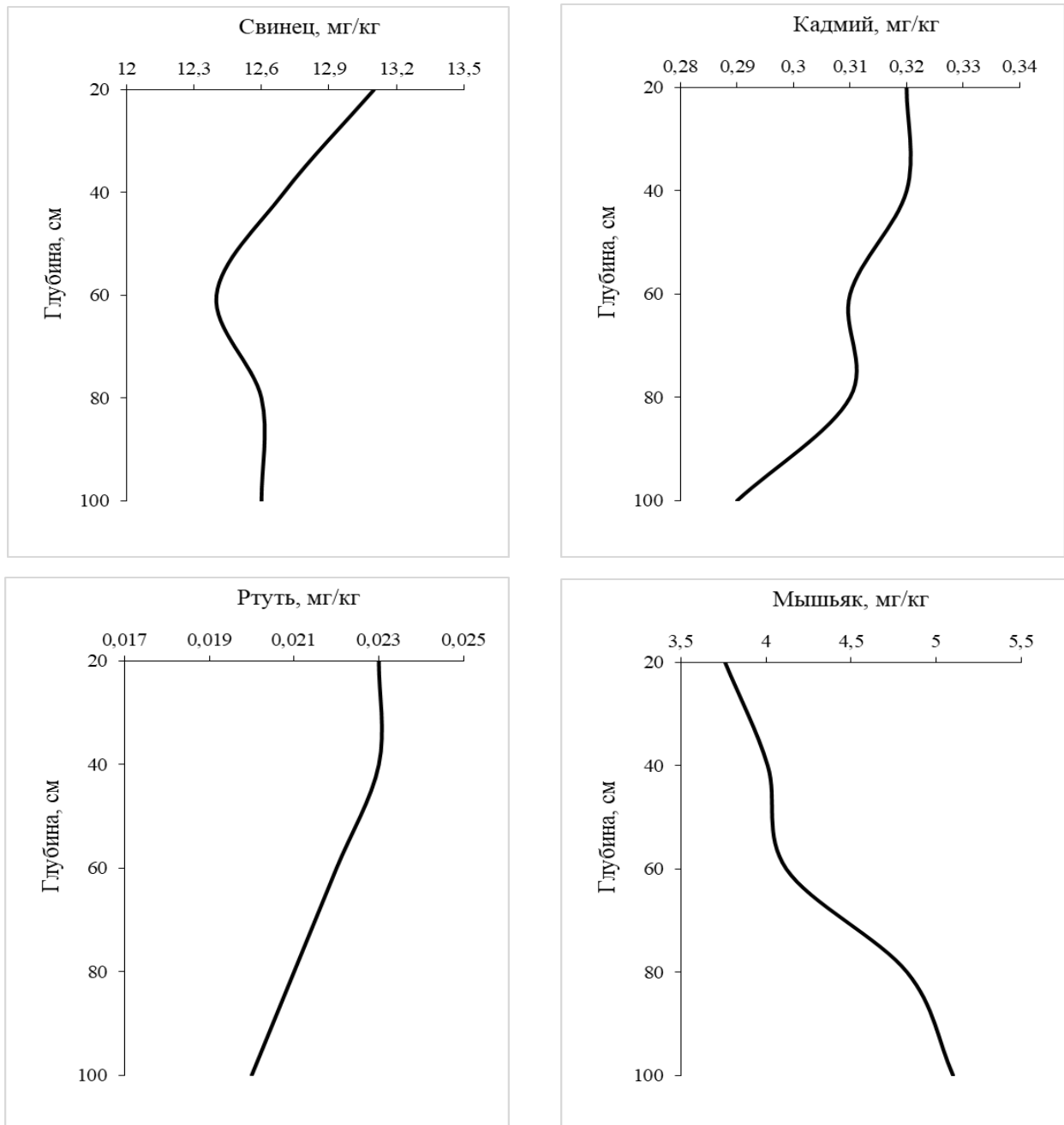


Рис. 1. Валовое содержание свинца, кадмия, ртути, мышьяка в черноземе выщелоченном реперных участков

По результатам нашего исследования установлено, что в целом валовое содержание свинца, кадмия, ртути и мышьяка в пахотных почвах лесостепной зоны несколько ниже, чем в почвах пашни, расположенных в степной зоне. Увеличение концентраций исследуемых элементов в черноземах степной зоны обусловлено более тяжелым гранулометрическим составом почв.

Кларк в почве (среднее валовое содержание) свинца, кадмия, мышьяка и ртути по А.П. Виноградову (1957) соответственно составляет 10, 0,5, 5, 0,05 мг/кг, по А. Kabata-Pendias (2011) – 27, 0,41, 6,83, 0,07 мг/кг. Фоновое содержание свинца, кадмия, мышьяка и ртути в слое 10-20 см гумусово-аккумулятивного горизонта целинного чернозема типичного заповедного участка «Ямская степь» составляет соответственно 14,5, 0,35, 3,12, 0,030 мг/кг.

Результаты обследований пахотных почв Белгородской области показали, что валовое содержание в них свинца и мышьяка в целом соответствует их кларкам по А.П. Виноградову, а валовое содержание кадмия и ртути ниже установленных кларков. Установленные нами валовые содержания свинца и кадмия в черноземе типичном оказались ниже, а мышьяка – выше, чем их концентрации в заповеднике «Белогорье». Содержание ртути в исследуемых нами почвах несколько ниже концентрации, отмеченной в заповедных почвах. Тенденции в распределении тяжелых металлов по глубине почвенного профиля одинаковы для пахотных почв и почв участка «Ямская степь» заповедника «Белогорье».

Данные о валовом содержании свинца, кадмия, ртути и мышьяка позволяют судить об их общем запасе в пахотном слое почв области. Наибольшие запасы (30900-39300 г/га) характерны для свинца и мышьяка (11208-16440 г/га). Запасы кадмия находятся в пределах 690-1050 г/га, что приблизительно в 11 раз выше запасов ртути в почве (66-90 г/га). По запасу в пахотном слое почвы данные элементы образуют убывающий ряд: Pb>As>Cd>Hg.

Ориентировочно допустимые концентрации свинца в тяжелосуглинистых почвах с $pH_{KCl} < 5,5$ составляют 65, кадмия – 1, мышьяка – 5 мг/кг. Утвержденные значения ОДК для тяжелосуглинистых почв с $pH_{KCl} > 5,5$ в 2 раза выше и

составляют: для свинца – 130, кадмия – 2, мышьяка – 10 мг/кг. ПДК в почве валовой ртути составляет 2,1. Результаты исследования показывают, что содержание свинца, кадмия, ртути и мышьяка в пахотных и целинных почвах не превышают допустимых концентраций.

Среднее содержание подвижных форм кадмия по профилю почв реперных участков достоверно не изменялось и находилось в пределах 0,05-0,07 мг/кг. Содержание подвижного свинца в слое 0-20 см составляет 1,09 мг/кг, а на глубине 81-100 см, где наблюдается подщелачивание среды, отмечается достоверное увеличение его концентрации до 1,68 мг/кг.

Допустимое содержание подвижных форм кадмия в России не установлено. ПДК в почве подвижного свинца составляет 6 мг/кг, что существенно выше установленных концентраций данного элемента в пахотных почвах Белгородской области.

ГЛАВА 4 АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В РАСТИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Результаты проведенных исследований показали, что содержание свинца в зерне кукурузы составляет в среднем 0,31, в семенах подсолнечника – 0,36, в зерне сои – 0,53 мг/кг в пересчете на абсолютно сухое вещество (табл. 4). Концентрация свинца в побочной продукции сои в 1,6 раза, а кукурузы и подсолнечника приблизительно в 5 раз выше, чем в основной продукции. Среди многолетних трав наибольшим содержанием свинца отличается эспарцет (0,41 мг/кг абсолютно сухого вещества), наименьшим – клевер (0,22 мг/кг), что в 3-6 раз меньше, чем в степном разнотравье заповедника «Белогорье».

Низкими концентрациями кадмия характеризуются кормовые многолетние травы: в люцерне содержится 0,016, эспарцете – 0,036, клевере – 0,014 мг/кг. Для сравнения в естественных экосистемах кадмий содержится в количестве 0,053 мг/кг. Среди зерновых и масличных сельскохозяйственных культур наиболее низкие концентрации кадмия отмечаются в зерне кукурузы

Вариационно-статистические показатели содержания тяжелых металлов
в сельскохозяйственных культурах и степном разнотравье,
мг/кг абсолютно сухого вещества

Культура		$\bar{x} \pm t_{05} S_{\bar{x}}$	lim	V, %
Свинец				
Кукуруза	зерно	$0,31 \pm 0,03$	0,18 – 0,45	23,9
	солома	$1,52 \pm 0,17$	0,97 – 2,24	23,4
Соя	зерно	$0,53 \pm 0,04$	0,37 – 0,68	17,0
	солома	$0,87 \pm 0,05$	0,64 – 1,04	12,3
Подсолнечник	семена	$0,36 \pm 0,03$	0,26 – 0,42	15,9
	стебли	$2,00 \pm 0,08$	1,74 – 2,28	8,3
Люцерна	сено	$0,34 \pm 0,05$	0,18 – 0,54	28,7
Эспарцет	сено	$0,41 \pm 0,04$	0,26 – 0,58	19,9
Клевер	сено	$0,22 \pm 0,02$	0,15 – 0,31	22,9
Степное разнотравье	сено	$1,32 \pm 0,04$	1,04 – 1,48	7,0
Кадмий				
Кукуруза	зерно	$0,042 \pm 0,006$	0,016 – 0,054	29,4
	солома	$0,059 \pm 0,005$	0,051 – 0,088	16,7
Соя	зерно	$0,072 \pm 0,011$	0,017 – 0,097	33,6
	солома	$0,083 \pm 0,010$	0,033 – 0,106	25,6
Подсолнечник	семена	$0,086 \pm 0,009$	0,073 – 0,162	21,4
	стебли	$0,070 \pm 0,003$	0,060 – 0,079	8,4
Люцерна	сено	$0,016 \pm 0,002$	0,011 – 0,023	22,1
Эспарцет	сено	$0,036 \pm 0,008$	0,013 – 0,063	47,2
Клевер	сено	$0,014 \pm 0,001$	0,010 – 0,020	19,3
Степное разнотравье	сено	$0,053 \pm 0,001$	0,048 – 0,059	5,4
Ртуть				
Кукуруза	зерно	$0,0036 \pm 0,0005$	0,0015 – 0,0050	30,6
	солома	$0,0104 \pm 0,0005$	0,0090 – 0,0120	11,0
Соя	зерно	$0,0032 \pm 0,0004$	0,0010 – 0,0045	27,4
	солома	$0,0093 \pm 0,0005$	0,0077 – 0,0110	11,9
Подсолнечник	семена	$0,0038 \pm 0,0003$	0,0021 – 0,0050	19,1
	стебли	$0,0104 \pm 0,0007$	0,0080 – 0,0120	14,1
Люцерна	сено	$0,0035 \pm 0,0003$	0,0025 – 0,0047	16,5
Эспарцет	сено	$0,0028 \pm 0,0004$	0,0017 – 0,0043	29,7
Клевер	сено	$0,0034 \pm 0,0002$	0,0023 – 0,0046	14,8
Степное разнотравье	сено	$0,0126 \pm 0,0010$	0,0100 – 0,0160	17,2
Мышьяк				
Кукуруза	зерно	$0,019 \pm 0,001$	0,016 – 0,024	12,3
	солома	$0,024 \pm 0,001$	0,021 – 0,027	6,9
Соя	зерно	$0,019 \pm 0,002$	0,012 – 0,033	26,6
	солома	$0,026 \pm 0,001$	0,023 – 0,028	6,5
Подсолнечник	семена	$0,021 \pm 0,001$	0,018 – 0,024	9,4
	стебли	$0,025 \pm 0,001$	0,023 – 0,028	6,9
Люцерна	сено	$0,022 \pm 0,001$	0,018 – 0,025	11,0
Эспарцет	сено	$0,020 \pm 0,001$	0,017 – 0,022	9,7
Клевер	сено	$0,021 \pm 0,001$	0,017 – 0,026	13,4
Степное разнотравье	сено	$0,027 \pm 0,002$	0,021 – 0,033	11,9

(0,042 мг/кг), а максимальные – в семенах подсолнечника (0,086 мг/кг). Наиболее высоким содержанием данного элемента в побочной продукции характеризуется солома сои (0,083 мг/кг).

В сельскохозяйственной продукции ртуть содержится в значительно меньших количествах, чем кадмий, мышьяк и тем более свинец. Максимальная средняя концентрация данного элемента, составляющая 0,0104 мг/кг абсолютно сухого вещества, наблюдается в побочной продукции кукурузы и подсолнечника. Минимальное содержание ртути отмечено в сене эспарцета (0,0028 мг/кг) и зерне сои (0,0032 мг/кг). По сравнению с сельскохозяйственными культурами, степное разнотравье заповедной зоны характеризуется значительно большим содержанием ртути – 0,0126 мг/кг в пересчете на абсолютно сухое вещество.

Концентрации мышьяка в репродуктивных органах кукурузы, сои и подсолнечника достоверно не отличаются и находятся на уровне 0,019-0,021 мг/кг. Несколько выше содержание мышьяка в их вегетативных органах и соответствует в среднем 0,025 мг/кг. В сене люцерны, эспарцета и клевера мышьяк содержится на уровне 0,020-0,022 мг/кг, что несколько ниже, чем его содержание в естественном биоценозе заповедника «Белогорье».

Для эколого-токсикологической оценки грубых и сочных кормов используют утвержденные временные максимально допустимые уровни (ВМДУ), фуражного зерна – технический регламент Таможенного союза 015/2011 «О безопасности зерна». Для продовольственного зерна предельно допустимые уровни токсичных элементов установлены в СанПиН 2.3.2.1078-01 «Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов». Согласно данным проведенных опытов, концентрации свинца, кадмия, ртути и мышьяка в многолетних травах и основной и побочной продукции злаковых и масличных культур не превышают допустимых уровней. Следует отметить, что тяжелые металлы наиболее сильно аккумулируются в побочной продукции культур, а не в их репродуктивных органах, за исключением кадмия в подсолнечнике, где отмечена обратная зависимость.

В рамках исследования были определены количества тяжелых металлов,

выносимых с урожаем и потребляемых сельскохозяйственными культурами при их формировании. Расчеты показали, что максимальный вынос свинца (14,1 г/га), кадмия (0,68 г/га), ртути (0,103 г/га) и мышьяка (0,28 г/га) происходит с основной и побочной продукцией кукурузы, а минимальный – с сеном многолетних трав (табл. 5). При формировании 1 т зерна кукурузы с учетом соответствующего количества побочной продукции расходуется 2,8 г свинца, 0,14 г кадмия, 0,021 г ртути и 0,06 г мышьяка. Вынос данных элементов с 1 т зерна сои и семян подсолнечника составляет: для свинца – 1,3 и 7,0 г, кадмия – 0,15 и 0,31 г, ртути – 0,012 и 0,038 г, мышьяка – 0,04 и 0,10 г соответственно. С 1 т люцерны выносятся всего 0,3 г свинца, 0,01 г кадмия, 0,003 г ртути и 0,02 г мышьяка.

Таблица 5

Вынос тяжелых металлов с урожаем сельскохозяйственных культур, г/га

Сельскохозяйственная культура		Pb	Cd	Hg	As
Кукуруза	зерно	1,3	0,18	0,015	0,08
	солома	12,8	0,50	0,087	0,20
	в сумме	14,1	0,68	0,103	0,28
Соя	зерно	0,7	0,10	0,004	0,03
	солома	1,4	0,13	0,015	0,04
	в сумме	2,1	0,23	0,019	0,07
Подсолнечник	семена	0,6	0,14	0,006	0,03
	стебли	13,4	0,47	0,070	0,17
	в сумме	14,0	0,61	0,076	0,20
Люцерна	сено	0,7	0,03	0,007	0,05

Поглощение элементов растениями не всегда находится в прямой пропорциональной зависимости от их содержания в почве. Интенсивность поглощения растениями элементов определяется их избирательностью, для выявления которой используют коэффициент биологического поглощения (Перельман, 1975).

Значения КБП тяжелых металлов для сельскохозяйственных культур и степного разнотравья сильно варьируют. К элементам, наиболее активно поглощаемым растениями, относятся кадмий, ртуть и свинец (табл. 6). Макси-

мальные значения КБП кадмия достигают 10,8 (семена подсолнечника), ртути – 10,4 (зерно кукурузы), свинца – 2,7 (стебли подсолнечника). В меньшей степени растениями поглощается мышьяк. Наибольшие значения КБП мышьяка (0,34) отмечаются в зерне кукурузы. Минимальными КБП кадмия (0,5-0,6), ртути (1,7), свинца (0,2-0,3) и мышьяка (0,07) отличаются люцерна и клевер. Для степного разнотравья характерно относительно высокое значение КБП ртути (6,6), существенно меньше КБП кадмия, свинца и мышьяка – 2,4, 1,4 и 0,14 соответственно.

Таблица 6

Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов растениями,
(мг/кг золы) / (мг/кг почвы)

Культура		Pb	Cd	Hg	As
Кукуруза	зерно	1,4	8,8	10,4	0,34
	солома	1,5	2,5	6,2	0,09
Соя	зерно	0,7	4,3	2,7	0,10
	солома	1,1	4,6	7,2	0,12
Подсолнечник	семена	1,0	10,8	6,6	0,22
	стебли	2,7	4,3	8,9	0,13
Люцерна	сено	0,3	0,6	1,7	0,07
Эспарцет	сено	0,5	2,0	2,2	0,09
Клевер	сено	0,2	0,5	1,7	0,07
Степное разнотравье	сено	1,4	2,4	6,6	0,14

Биологическое поглощение тяжелых металлов растительностью обуславливает их распределение по почвенному профилю: чем выше КБП, тем больше содержание элемента в гумусово-аккумулятивном горизонте по отношению к почвообразующей породе (коэффициент аккумуляции) (Протасова, Щербаков, 2003). Полученные величины коэффициента биологического поглощения тяжелых металлов степным разнотравьем образуют убывающий ряд: Hg(6,6)>Cd(2,4)>Pb(1,4)>As(0,14). По значениям коэффициента аккумуляции элементов в черноземе типичном получен аналогичный убывающий ряд: Hg(2,4)>Cd(1,6)>Pb(1,3)>As(0,73).

ГЛАВА 5 БИОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В АГРОЭКОСИСТЕМАХ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Хозяйственный баланс тяжелых металлов в агроэкосистемах Белгородской области, составляющий часть общего биологического круговорота веществ, рассчитывается путем сопоставлений количества элементов, поступающих в почву с удобрениями и семенами сельскохозяйственных культур, с их расходом на создание урожая и потерями за счет водной эрозии.

На территории Белгородской области главным источником поступления свинца, кадмия, ртути и мышьяка в агроэкосистемы считаются органические удобрения (Лукин, 2016). В значительно меньшем количестве эти элементы вносятся с применяемыми в сельскохозяйственном производстве минеральными удобрениями, мелиорантами и семенами сельскохозяйственных культур.

В структуре применения минеральных удобрений в области преобладают аммиачная селитра и азофоска, а среди мелиорантов – дефекаты. По нашим данным, содержание свинца, кадмия, ртути и мышьяка в аммиачной селитре составляет 0,16, 0,04, 0,005 и 0,34 мг/кг соответственно, в азофоске – 0,24, 0,1, 0,028 и 0,94 мг/кг, в дефекатах – 3,38, 0,297, 0,0136 и 2,0 мг/кг (табл. 7).

Используемые на территории области органические удобрения сильно отличаются по содержанию и соотношению в них химических элементов, что является следствием особенностей кормления и содержания животных, а так же удаления и хранения органических удобрений. Например, среднее содержание азота на исходную влажность в навозных стоках (свиных) составляет в среднем 0,28 %, в навозе КРС – 0,72 %, в компостах на основе птичьего помёта – 2,84 %. Чтобы внести с органическими удобрениями дозу азота 100 кг/га потребуется около 35,7 т/га навозных стоков, 13,9 т/га навоза КРС, 3,5 т/га компоста соломопометного и с этим количеством органики будет внесено в почву соответственно: свинца – 4,6, 13,3, 5,1 г/га, кадмия – 0,29, 1,2, 0,53 г/га, ртути – 0,039, 0,092, 0,015 г/га, мышьяка – 0,18, 1,9, 0,31 г/га. Таким образом, при одинаковой по азоту дозе органических удобрений кадмия, свинца, ртути и мышьяка больше всего вносится в почву с навозом КРС.

Таблица 7

**Вариационно-статистические показатели содержания тяжелых металлов
в органических удобрениях и мелиорантах, мг/кг**

Элементы	$\bar{x} \pm t_{05} S_{\bar{x}}$	lim	V, %
Стоки навозные (2,22% сухого вещества)			
Pb	0,13 ± 0,02	0,06 – 0,22	35,8
Cd	0,008 ± 0,001	0,004 – 0,012	35,3
Hg	0,0011 ± 0,0001	0,0007 – 0,0018	25,9
As	0,005 ± 0,001	0,003 – 0,008	33,2
Компост соломопомётный (56% сухого вещества)			
Pb	1,46 ± 0,24	0,97 – 2,69	35,0
Cd	0,151 ± 0,026	0,071 – 0,249	36,7
Hg	0,0044 ± 0,0007	0,0019 – 0,0078	34,0
As	0,089 ± 0,011	0,059 – 0,139	25,9
Навоз КРС (25% сухого вещества)			
Pb	0,96 ± 0,15	0,49 – 1,58	32,9
Cd	0,084 ± 0,014	0,035 – 0,139	36,3
Hg	0,0066 ± 0,0011	0,0033 – 0,0108	36,7
As	0,137 ± 0,021	0,062 – 0,218	32,4
Дефекат (87% сухого вещества)			
Pb	3,38 ± 0,52	1,42 ± 4,94	32,8
Cd	0,297 ± 0,022	0,213 – 0,374	15,5
Hg	0,0136 ± 0,0010	0,0052 - 0,0204	33,2
As	2,00 ± 0,23	1,10 – 2,93	25,5

На протяжении 2010-2014 гг. на территории Белгородской области вносилось в среднем 4,82 т/га органических удобрений (в пересчете на навоз КРС), 97,9 кг д.в. минеральных удобрений и 0,39 т/га мелиорантов. С этим количеством агрохимикатов в почву поступает 4,63, 0,048, 1,32 г/га свинца, 0,40, 0,017, 0,116 г/га кадмия, 0,032, 0,004, 0,005 г/га ртути, 0,66, 0,16, 0,78 г/га мышьяка (табл. 8). Небольшой вклад в приходную статью баланса вносят семена выращиваемых культур. Доля свинца, попадаемого с семенами, составляет всего 1,2 % (0,071 г/га), кадмия – 1,5 % (0,008 г/га), ртути – 2,4 % (0,001 г/га), и всего 0,1 % – мышьяка (0,003 г/га).

Основной расходной статьёй баланса являются потери тяжелых металлов со смываемой почвой в результате водной эрозии. По некоторым оценкам, еже-

годно в области смывается 3235 тыс. т почвы (1,92 т/га) (Шатилов и др., 1990; Лукин, Хижняк, 2016). Таким образом, количество вымываемых тяжелых металлов с эрозионными потерями почвы составляет: для свинца – 25,2, кадмия – 0,61, ртути – 0,044, мышьяка – 7,2 г/га.

Таблица 8

Хозяйственный баланс тяжелых металлов в агроэкосистемах
Белгородской области за 2010-2014 гг.

Статьи баланса		Pb	Cd	Hg	As
Приход, г/га	органические удобрения	4,63	0,40	0,032	0,66
	минеральные удобрения	0,048	0,017	0,004	0,16
	мелиоранты	1,32	0,116	0,005	0,78
	семена	0,071	0,008	0,001	0,003
	всего	6,07	0,54	0,042	1,60
Расход, г/га	вынос урожаем	2,0	0,22	0,028	0,081
	эрозионные потери почвы	25,2	0,61	0,044	7,2
	всего	27,2	0,83	0,072	7,28
Баланс, ± г/га		-21,13	-0,29	-0,03	-5,68
Интенсивность баланса, %		22,3	65,1	58,3	22,0

Определенное количество попавших в почву элементов используется растениями и отчуждается с хозяйственно ценной частью урожая. Однако с растениеводческой продукцией, по сравнению с эрозионными потерями, этих элементов выносятся значительно меньше.

Результаты исследований показали, что для всех рассматриваемых токсичных элементов складывается отрицательный хозяйственный баланс. При этом наибольшая интенсивность баланса (отношение приходной части баланса к расходной, выраженное в процентах) характерна для кадмия (65,1 %) и ртути (58,3 %). Величина интенсивности баланса свинца составила 22,3 %, мышьяка – 22,0 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенная экологическая оценка содержания свинца, кадмия, ртути и мышьяка в агроэкосистемах юго-западной части Центрально-Черноземного

района России показала, что выявленные концентрации тяжелых металлов в пахотных почвах Белгородской области, основной и побочной продукции сельскохозяйственных культур, возделываемых на ее территории, соответствуют требованиям утвержденных нормативов. Тем не менее, контроль за содержанием данных элементов в почвах и растениеводческой продукции необходим, в первую очередь, из-за очень широкого применения различных органических удобрений и мелиорантов, являющихся в области основными источниками поступления тяжелых металлов в агроэкосистемы.

В результате проведения диссертационного исследования были сделаны следующие **выводы**:

1. Валовое содержание свинца, кадмия и мышьяка в пахотном слое чернозема типичного тяжелосуглинистого лесостепной зоны Белгородской области составляет в среднем $10,3 \pm 0,6$, $0,23 \pm 0,02$, $4,18 \pm 0,38$ мг/кг соответственно. В черноземе обыкновенном легкоглинистом степной зоны Белгородской области среднее содержание данных токсикантов выше и составляет: для свинца – $11,2 \pm 0,4$, кадмия – $0,35 \pm 0,02$, мышьяка – $5,48 \pm 0,34$ мг/кг. Концентрации ртути в пахотном горизонте исследуемых почв достоверно не отличаются и находятся на уровне $0,022-0,023 (\pm 0,002)$ мг/кг.

2. В распределении валового содержания свинца, кадмия и ртути в профиле пахотных черноземов наблюдается тенденция к постепенному уменьшению их концентраций с глубиной, что связано с биофильным накоплением данных элементов в гумусовом горизонте. Для мышьяка характерна обратная зависимость: чем меньше глубина почвенного профиля, тем выше его содержание.

3. Фоновые концентрации свинца, кадмия, ртути и мышьяка в естественной растительности заповедника «Белогорье» составляют $1,32 \pm 0,04$, $0,053 \pm 0,001$, $0,0126 \pm 0,0010$, $0,027 \pm 0,002$ мг/кг соответственно. Коэффициент биологического поглощения ртути степным разнотравьем равен 6,6, кадмия – 2,4, свинца – 1,4, мышьяка – 0,14.

4. Среднее содержание свинца в возделываемых на территории Белгородской области сельскохозяйственных культурах варьирует в среднем от 0,22 до

2,00, кадмия – от 0,014 до 0,086, ртути – от 0,0028 до 0,0104, мышьяка – от 0,019 до 0,026 мг/кг. Максимальные концентрации свинца обнаружены в стеблях, кадмия – в семенах подсолнечника, ртути – в соломе кукурузы и стеблях подсолнечника, мышьяка – в соломе сои. Тяжелые металлы наиболее сильно аккумулируются в побочной продукции культур, а не в их репродуктивных органах. Исключение составляет содержание кадмия в подсолнечнике, где отмечена обратная зависимость.

5. Коэффициент биологического поглощения мышьяка сельскохозяйственными культурами находится в пределах 0,07-0,34. Этот элемент в меньшей степени поглощается растениями. Наиболее активно растениями поглощаются ртуть, кадмий и свинец. КБП ртути варьирует от 1,7 до 10,4, кадмия – от 0,5 до 10,8, свинца – от 0,2 до 2,7. Низкой интенсивностью поглощения кадмия отличаются люцерна и клевер, свинца – многолетние травы и зерно сои. Наиболее высокой способностью поглощать тяжелые металлы обладают кукуруза и подсолнечник.

6. Органические удобрения имеют существенные отличия по химическому составу. При внесении органических удобрений в одинаковой по азоту дозе меньше всего кадмия, свинца и мышьяка поступает в почву с навозными стоками, ртути – с компостом соломопометным. Наибольшее количество изучаемых элементов вносится с навозом КРС. С органическими удобрениями в почву попадет свинца – 76,3 % (от общего поступления), кадмия – 74,0 %, ртути – 76,2 %, мышьяка – 41,2 %. Большая часть мышьяка поступает с мелиорантами (48,7 %).

7. В связи с высокой эродированностью почв пашни, основной вынос изучаемых элементов происходит со смываемой почвой и составляет: для свинца – 92,6 %, кадмия – 73,5 %, ртути – 61,1 %, мышьяка – 98,9 %. В результате хозяйственный баланс тяжелых металлов в агроэкосистемах Белгородской области складывается отрицательным.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Лукин, С.В. Экологическая оценка содержания кадмия в агроценозах Центрально-Черноземных областей России / С.В. Лукин, С.В. Селюкова // Почвоведение. – 2018. – № 10 приложение. – С. S3-S9.
2. Лукин, С.В. Экологическая оценка содержания ртути и мышьяка в агроценозах лесостепи Центрально-Черноземных областей России / С.В. Лукин, С.В. Селюкова // Агрохимия. – 2018. – № 8. – С. 74-80.
3. Лукин, С.В. Агроэкологическая оценка микроэлементного состава растений сои / С.В. Лукин, С.В. Селюкова // Достижения науки и техники АПК. – 2017. – Т. 31. – № 6. – С. 34-36.
4. Селюкова, С.В. Агроэкологическая оценка содержания тяжелых металлов в кукурузе и подсолнечнике / С.В. Селюкова // Агрохимический вестник. – 2017. – № 5. – С. 52-55.
5. Лукин, С.В. Агроэкологическая оценка влияния органических удобрений на микроэлементный состав почв / С.В. Лукин, С.В. Селюкова // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30. – № 12. – С. 61-65.
6. Селюкова, С.В. Тяжелые металлы в органических удобрениях / С.В. Селюкова // Агрохимический вестник. – 2016. – № 5. – С. 47-51.

Публикации в других научных изданиях:

7. Селюкова, С.В. Агроэкологическая оценка содержания свинца, кадмия, ртути и мышьяка в агроценозах лесостепной зоны Белгородской области / С.В. Селюкова // Современное состояние почвенного покрова, сохранение и воспроизводство плодородия почв. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции. 14-15 августа 2018 г. – Махачкала: ФГБНУ «Федеральный аграрный научный центр Республики Дагестан». – 2018. – С. 216-219.
8. Селюкова, С.В. Агроэкологическая оценка содержания тяжелых металлов в зерне и соломе кукурузы / С.В. Селюкова // Современные тенденции развития науки и технологий. Периодический научный сборник по материалам XXIV Международной научно-практической конференции. 31 марта 2017 г. – Белгород. – 2017. – № 3-1. – С. 128-130.
9. Селюкова, С.В. Кадмий в агроценозах лесостепной зоны ЦЧО / С.В. Селю-

кова // Современные проблемы сельскохозяйственных наук в мире. Выпуск III. Сборник научных трудов по итогам международной научно-практической конференции. 11 июня 2016 г. – Казань. – 2016. – С. 5-7.

10. Селюкова, С.В. Свинец в агроценозах лесостепи / С.В. Селюкова // Современные тенденции развития науки и технологий. Периодический научный сборник по материалам XII Международной научно-практической конференции. 31 марта 2016 г. – Белгород. – 2016. – № 3-1. – С. 114-116.

11. Селюкова, С.В. Мышьак в агроценозах лесостепи / С.В. Селюкова // Наука, образование, общество. Сборник научных трудов по материалам международной научно-практической конференции. 29 февраля 2016 г. – Тамбов. – 2016. – Часть 2. – № 2-2(6). – С. 104-106.

12. Селюкова, С.В. Ртуть в агроценозах лесостепи / С.В. Селюкова // Наука и образование в социокультурном пространстве современного общества. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. 29 февраля 2016 г. В 3-х частях. – Смоленск. – 2016. – Часть 1. – С. 99-100.

13. A comparative evaluation of macro- and microelement composition of plants of white lupine and soybean (Сравнительная оценка макро- и микроэлементного состава растений белого люпина и сои) / S.V. Lukin, S.V. Selyukova, E.A. Prazina, N.S. Chetverikova (С.В. Лукин, С.В. Селюкова, Е.А. Празина, Н.С. Четверикова) // Indo American journal of Pharmaceutical sciences. – 2018. – № 05(06). – P. 6133-6137. (Американский журнал фармацевтических наук. – 2018. – № 05(06). – С. 6133-6137.)