

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ЦЕНТР
«КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ»
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
РАДИОЛОГИИ И АГРОЭКОЛОГИИ»
(НИЦ "КУРЧАТОВСКИЙ ИНСТИТУТ" – ВНИИРАЭ)**

На правах рукописи

Курбаков Дмитрий Николаевич

**Обоснование и оптимизация реабилитационных мероприятий в сельском
хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами**

Специальность 1.5.15 – Экология

ДИССЕРТАЦИЯ

на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:
доктор биологических наук, профессор РАН
Панов Алексей Валерьевич

Обнинск – 2024

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	11
1.1. Проблемы техногенного загрязнения сельскохозяйственных угодий в Российской Федерации.....	11
1.2. Рейтинг опасности техногенных загрязнителей	13
1.3. Тяжелые металлы в компонентах окружающей среды	14
1.4. Нормирование содержания тяжелых металлов в объектах природных и аграрных экосистем	21
1.4.1. Нормирование тяжелых металлов в почве	23
1.4.2. Нормирование содержания тяжелых металлов в продукции растениеводства и кормах сельскохозяйственных животных.....	29
1.5. Технологические приемы снижения накопления тяжелых металлов в сельскохозяйственном сырье и продукции	34
1.5.1. Классификация реабилитационных технологий в сельском хозяйстве.....	35
1.5.2. Технологические приемы снижения содержания тяжелых металлов в продукции растениеводства.....	38
1.6. Актуальные аспекты оценки эффективности ведения сельского хозяйства.....	40
ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	45
2.1. Методы проведения полевых и лабораторных экспериментов при изучении минеральных удобрений, как источника поступления ТМ в почву и растительность	45
2.2. Методы проведения мониторинговых исследований компонентов агроэкосистем зоны воздействия промышленных предприятий металлургического производства	46
2.2.1. Исследование снежного покрова в зоне влияния металлургического производства.....	46
2.2.2. Мониторинговые исследования почв и растительности агропромышленных предприятий в 30 км зоне воздействия компаний «Новолипецкого металлургического комбината»	50
2.3. Структура и характеристика базы данных по эффективности применения агромелиорантов на территориях, загрязненных тяжелыми металлами.....	52
2.4. Методология оценки эффективности реабилитационных технологий при ведении сельского хозяйства на территориях, загрязненных тяжелыми металлами.....	54
2.5. Методологические подходы к комплексной оценке экологической и экономической эффективности реабилитационных мероприятий.....	61
ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В КОМПОНЕНТЫ АГРОЭКОСИСТЕМ	64
3.1. Минеральные удобрения как источник поступления тяжелых металлов в почвы сельскохозяйственных угодий	64
3.2. Влияние минеральных удобрений и агромелиорантов на накопление тяжелых металлов в почве и урожае сельскохозяйственных культур при длительном их применении.....	69

ГЛАВА 4. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ТМ В КОМПОНЕНТАХ АГРОЭКОСИСТЕМ В ЗОНАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ.....	81
4.1. Содержание тяжелых металлов в снежном покрове зон воздействия предприятий черной металлургии	81
4.1.1. Содержание тяжелых металлов в снежном покрове района расположения электрометаллургического завода ООО «НЛМК-Калуга» с. Ворсино.....	81
4.1.2. Содержание тяжелых металлов в снежном покрове ПАО «НЛМК» г. Липецк.....	86
4.2. Мониторинг состояния агроценозов в зоне влияния металлургического производства ...	91
4.2.1. Агроэкологический мониторинг сельскохозяйственных угодий ООО «Россия» Липецкой области, расположенных в 30 км зоне ПАО «НЛМК».....	91
4.2.2. Агроэкологический мониторинг сельскохозяйственных угодий, расположенных в 30 км зоне влияния ООО «НЛМК-Калуга».....	101
ГЛАВА 5. ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ НА ТЕРРИТОРИЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ.....	115
5.1. База данных по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами	115
5.1.1. Анализ информации в базе данных по эффективности реабилитационных технологий на территориях, загрязненных тяжелыми металлами	121
5.2. Компьютерная система поддержки принятия решений по оценке эффективности реабилитационных технологий на территориях, загрязненных тяжелыми металлами	124
ГЛАВА 6. КОМПЛЕКСНОЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ТЕРРИТОРИЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ.....	131
6.1. Анализ эффективности реабилитационных мероприятий на угодьях бывшего сельскохозяйственного предприятия ООО «Россия».....	133
6.1.1. Организационные и ограничительные мероприятия.....	133
6.1.2. Технологические приемы возделывания зерновых культур при высоких уровнях загрязнения почв тяжелыми металлами.....	133
6.1.3. Технологические приемы возделывания картофеля при высоких уровнях загрязнения почв тяжелыми металлами	136
Заключение	139
Выводы.....	145
Список литературы	146

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследования.

Экологическая обстановка в сфере сельскохозяйственного производства определяется интенсивностью воздействия деятельности человека [1-4]. Выбросы загрязняющих веществ и, особенно, тяжелых металлов (ТМ) в атмосферу от транспорта и промышленных предприятий распространяются на прилегающую территорию, являясь одними из основных источников техногенного загрязнения почв сельскохозяйственных угодий [4]. Поступление тяжелых металлов в почву носит ярко выраженный региональный характер, причем состав выбросов значительно отличается для различных субъектов Российской Федерации. Загрязнение почвенного покрова тяжелыми металлами отмечено практически во всех промышленно развитых областях России [5]. Площадь техногенного загрязнения почв России составляет 18 млн. га сельскохозяйственных угодий из 222 млн. га [6, 7], при этом свинцом загрязнено 3, цинком почти 2, кадмием больше 1 млн. га. [5, 8]. За последние 10 лет, согласно ежегоднику по загрязнению почв в РФ, ситуация с содержанием поллютантов в почве существенно не изменилась [5]. Наиболее высокая степень загрязнения ТМ характерна для территорий, прилегающих к крупным промышленным агломерациям, где расположены предприятия машиностроения, металлургического и химического производства [1, 9]. В связи с этим в зонах влияния промышленных предприятий актуальной является проблема производства сельскохозяйственной продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам. Это определяет необходимость проведения на сельскохозяйственных угодьях комплекса экономически обоснованных мероприятий, обеспечивающих производство экологически безопасной пищевой продукции, а также оценки эффективности и оптимизации применяемых реабилитационных технологий. Неоднородность техногенных выбросов, различные агрохимические характеристики почв и широкий спектр возделываемой продукции растениеводства усложняет обоснование и выбор оптимальных реабилитационных технологий. Такие технологии с одной стороны должны обеспечивать получение продукции, отвечающей санитарно-гигиеническим нормативам, а с другой, способствовать сохранению плодородия почв и повышению продуктивности агроценозов, как интегрального показателя их устойчивости [2].

В последние годы проведено большое количество исследований по определению эффективности использования реабилитационных мероприятий, направленных на восстановление территорий, загрязненных тяжелыми металлами, анализу влияния разнообразных факторов на изменение урожайности сельскохозяйственных культур и снижение содержания тяжелых металлов в продукции сельского хозяйства [10]. Однако до настоящего времени не создана комплексная система, позволяющая обобщить имеющиеся данные о

влиянии реабилитационных технологий на снижение накопления ТМ в продукции растениеводства. Для решения этой задачи в данной работе рассмотрены методы оценки и оптимизации эффективности реабилитационных мероприятий (РМ) на территориях, загрязненных ТМ.

Степень разработанности проблемы. Вопросами изучения закономерностей накопления ТМ в урожае сельскохозяйственных культур и получением экологически безопасной продукции растениеводства в условиях техногенного загрязнения, занимаются многие исследователи [11-19]. В России исследованиям в этой области посвящены труды Ковальского В.В. [11-12], Зырина Н.Г. [20-23], Ковалевского А.Л. [13-14], Алексеева Ю.В., Ильина В.Б. [16], Минеев В.Г., Черных Н.А. [24], Добровольского В.В. [15], Пархоменко Н.А. [25], Водяницкого Ю.Н. [26], Минеев В.Г. [27] и др.

Для ведения сельскохозяйственного производства на техногенно загрязненных территориях и получения продукции растениеводства, удовлетворяющей санитарно-гигиеническим требованиям по содержанию тяжелых металлов, разработаны и внедрены как агротехнические, так и агрохимические приемы, которые включают: применение сорбентов, минеральных и органических удобрений, известкование кислых почв, сочетанное использование различных мероприятий и т.д. [1, 28-32].

Следует отметить, что тяжелые металлы в микроколичествах являются элементами необходимыми для роста и развития растений. Тяжелые металлы так же могут встречаться и в минеральных удобрениях, являясь в них естественными примесями [33-35]. Содержание в агроулучшителях тяжелых металлов зависит от элементного состава сырья и технологии его переработки. Уровни содержания тяжелых металлов в средствах химизации сравнительно невелики, но применение их в течение длительного времени может привести к накоплению ТМ в почве [1, 33-34, 36]. В связи с этим необходимо обосновывать оптимальные дозы применения минеральных и органических удобрений. Использование технологически схожих приемов на различных почвах и сельскохозяйственной продукции приводит к отличающимся экологическим эффектам. Учитывая данный факт, необходима разработка методологических и практических инструментов обоснования, а также оптимизации применения реабилитационных мероприятий при ведении сельскохозяйственного производства на территориях, загрязненных тяжелыми металлами [2].

К настоящему времени для решения проблем загрязнения окружающей среды разработан целый ряд моделей и компьютерных систем поддержки принятия решения, геоинформационных систем (ГИС) по оценке и прогнозированию техногенного загрязнения («Роло» - предназначена для экологических расчетов, анализа экстремальных ситуаций [37]; УПРЗА «Эколог» (Фирма "Интеграл, Санкт-Петербург) – программа расчета загрязнения

атмосферы [38]; *RECASS* (НПО «Тайфун», Обнинск) – программа поддержки принятия решений в условиях загрязнения природной среды при радиационных, химических авариях, а также при выбросах вулканического пепла и продуктов горения лесных и торфяных пожаров [39]. Однако нет программ, направленных на реабилитацию сельскохозяйственных территорий, загрязненных ТМ [10, 18].

Для эффективного решения вопроса производства нормативно чистой продукции на техногенно, загрязненных территориях необходим мониторинг сельскохозяйственных угодий, подвергающихся антропогенному воздействию.

Цель работы: Оценка агроэкологической обстановки, обоснование и оптимизация реабилитационных мероприятий, обеспечивающих производство безопасной по содержанию ТМ сельскохозяйственной продукции на территориях, прилегающих к предприятиям черной металлургии.

Задачи исследования:

1. Усовершенствование методологического подхода, создание базы данных и разработка системы поддержки принятия решений для оценки эффективности и обоснования оптимальных реабилитационных мероприятий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных ТМ;

2. Оценка результатов агроэкологического мониторинга в регионах размещения ПАО «Новолипецкий металлургический комбинат» (ПАО «НЛМК») и ООО «НЛМК-Калуга» и изучение накопления ТМ в почвах и растениях (кормовые травы, зерновые культуры);

3. Изучение особенностей накопления ТМ в почвах и растениях при использовании различных систем удобрений и их влияния на свойства почв, урожайность и качество продукции растениеводства;

4. Обоснование и оптимизация применения стандартных и реабилитационных технологий при ведении сельского хозяйства в условиях загрязнения почв ТМ в районе воздействия предприятий черной металлургии.

Научная новизна.

Усовершенствованы методы оценки экологической и экономической эффективности реабилитационных технологий для производства экологически безопасной продукции на территориях, загрязненных тяжелыми металлами.

Впервые проведена комплексная оценка агроэкологического состояния почвенно-растительного покрова сельскохозяйственных угодий 30-км зоны воздействия ПАО «НЛМК-Липецк», определены критические пути поступления токсикантов в продукцию сельского хозяйства.

Впервые в предпроектный период (2013 г.) и во время эксплуатации ООО «НЛМК-Калуга» получена информация о фоновых и накопленных уровнях содержания тяжелых металлов в почве, растениях и сельскохозяйственной продукции.

Дана оценка влияния многолетнего (20 лет) применения различных видов и доз минеральных удобрений на накопление ТМ в растениях и почвах выщелоченного чернозема. Приведена сравнительная оценка вклада отечественных и импортных минеральных удобрений на поступление ТМ в почвы сельскохозяйственных угодий.

Теоретическая и практическая значимость работы.

Разработаны методологические основы и предложены критерии оценки эффективности технологий, направленных на снижение содержания ТМ в сельскохозяйственной продукции. Усовершенствован методологический подход к оптимизации проведения реабилитационных мероприятий при загрязнении сельскохозяйственных угодий ТМ, включающий комплексную оценку параметров миграции ТМ и систему критериев эффективности реабилитационных технологий.

Разработана система мониторинга экологической обстановки в зоне воздействия выбросов предприятий черной металлургии для оценки опасности накопления ТМ в компонентах агроэкосистем и обоснования необходимости РМ.

Дана сравнительная оценка воздействия двух металлургических предприятий на накопление ТМ в компонентах экосистем в зависимости от объема и технологических особенностей производства.

Создана база данных (БД) и разработана система поддержки принятия решения (СППР) для обоснования наиболее эффективных реабилитационных мероприятий с учетом уровней содержания ТМ в почвах, растениях, свойств почв, нормативных требований к безопасности продукции и экономических критериев.

Объектами исследований являлись компоненты агроэкосистем (почва, растительность), минеральные удобрения, а также атмосферные выпадения и снежный покров территорий в 30-км зоне воздействия металлургического комбината ПАО "НЛМК" (г. Липецк) и ООО "НЛМК-Калуга" (с. Ворсино, Калужской области).

Предмет исследований: параметры миграции и накопления ТМ в основных компонентах агроэкосистем; технологические приемы ведения растениеводства, снижающие накопление ТМ в продукции; методологические подходы к оценке эффективности технологий реабилитации в сельском хозяйстве в условиях загрязнения ТМ.

Методы исследований: классические полевые методы изучения миграции ТМ в системе почва-растение и методы исследования снежного покрова в районах воздействия

промышленных предприятий. Лабораторные методы атомно-эмиссионной спектрометрии, агрохимии, анализа химического состава загрязнения снежного покрова.

В исследовании использован метод однофакторного математического анализа эффективности реабилитационных технологий, а также статистические методы обработки данных с использованием пакета прикладных программ *STATISTICA 10.0*, *MS Excel*, СУБД *Access*.

Методологический подход к оценке эффективности реабилитационных мероприятий включает: критерии оценки эффективности; базу данных; систему поддержки принятия решений по обоснованию и оптимизации применения РМ.

Положения, выносимые на защиту:

1. Оценка экологической ситуации в агроценозах зон воздействия выбросов промышленных предприятий и оптимизация применения реабилитационных мероприятий при загрязнении ТМ выполнена с использованием, усовершенствованных критериев (экологические, нормативные, экономические), разработанного методологического подхода и инструментов информационной поддержки (БД, СППР);

2. В ближней зоне воздействия (до 10 км) выбросов предприятий черной металлургии зарегистрировано повышенное поступление ТМ на почвенно-растительный покров и аккумуляция ТМ в верхних 0-2 и 2-5 см слоях почвы на залежных и природных кормовых угодьях. Превышений ОДК ТМ в почвах пахотных и целинных угодий не наблюдается. Загрязнение урожая сельскохозяйственных культур ТМ происходит преимущественно аэральным путем;

3. Длительное (20 лет) применение различных доз и сочетаний отечественных минеральных удобрений не приводит к значимому изменению содержания ТМ в пахотном слое черноземных почв, но оказывает влияние на баланс элементов питания, агрохимические показатели и накопление ТМ в урожае зерновых культур;

4. Разработан комплекс эффективных реабилитационных мероприятий (организационных и агрохимических), обеспечивающих производство продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим и ветеринарным требованиям на угодьях бывшего сельскохозяйственного предприятия ООО «Россия», расположенного в 30 км зоне воздействия ПАО «НЛМК» и снижающий содержание ТМ в продукции растениеводства до 2 раз.

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных результатов определяется большим объемом экспериментальных данных, использованием современного аналитического оборудования, применением методов статистического анализа результатов, а также базой данных, содержащей около 4 тысяч записей.

Материалы внедрения. Результаты использованы при подготовке следующих документов: Руководство пользователя «База данных по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами» (ISBN 978-5-903386-44-4, 2016); Авторские свидетельства о государственной регистрации базы данных №2017620776 от 18.08.2017, №2022623321 от 08.12.2022, № 2023623818 от 27.11.2023.

Апробация работы. Результаты представлены на научных международных, всероссийских и региональных конференциях: Международная научная конференция «Техногенный системы и экологический риск». Обнинск, 2014, 2016, 2017, 2020, 2021, 2023; Москва, 2014; XI Международная научно-практическая конференция «Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков». Новосибирск, 2015; Международная научная конференция «Экологическая, промышленная и энергетическая безопасность». Севастополь, 2017; XLVI Международные радиоэкологические чтения, посвященным академику ВАСХНИЛ В.М. Ключковскому. Обнинск, 2017; Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия». Курск, 2018, 2019, 2020, 2021; Всероссийская научная конференция «Химическое и биологическое загрязнение почв». Пушкино, 2018; XIV Международная научно-практическая конференция «Проблемы устойчивого развития и эколого-экономической безопасности регионов». Волгоград, 2019; 23-я международная Пущинская школа-конференция молодых ученых «Биология-наука 21 века», 2019; Международная научная конференция «Плодородие почв России. Состояние территорий и прогнозы». Москва, 2019; Международная научно-практическая конференция «Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве». Обнинск, 2020; XXI Международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы экологии и природопользования». Москва, 2020; V Международная конференция «Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности». Казань, 2020; XV Всероссийская научно-практическая конференция «Проблемы устойчивого развития и эколого-экономической безопасности регионов», Волжский, 2020; I Международная молодежная конференции «Генетические и радиационные технологии в сельском хозяйстве». Обнинск, 2022.

Публикации. По результатам исследований опубликовано: 35 печатных работ, включая 1 коллективную монографию, 1 руководство пользователя на базу данных, 3 авторских свидетельства, 30 публикаций, индексируемых РИНЦ. В материалах отечественных и международных научных конференций, симпозиумов и съездов представлено 22 публикации. Основные результаты диссертационной работы опубликованы в 6 статьях в ведущих рецензируемых научных журналах, индексируемых Web of Science, Scopus, RSCI и

рекомендованных для защиты в диссертационном совете МГУ.015.3 по специальности 1.5.15 – Экология.

Материалы исследований опубликованы в журналах: «Экология и промышленность России», «Проблемы агрохимии и экологии», Агрохимический вестник», «Агрохимия», «Экология промышленного производства», «Journal of Physics: Conference Series».

На созданную в рамках выполнения диссертационной работы базу данных «Эффективность реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами» получено авторское свидетельство о государственной регистрации № 2017620776. от 18.08.2017., № 2022623321. от 08.12.2022., № 2023623818. от 27.11.2023. Разработано руководство пользователя «База данных по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами» (ISBN 978-5-903386-44-4, Обнинск, 2016).

Личное участие автора. Автор принимал участие во всех этапах исследования: разработка методологии; определение цели и задач исследования; проведение полевых и лабораторных работ; обработка, анализ и интерпретации данных; создание компьютерных средств поддержки принятия решения; формулирование основных положений и выводов; подготовка 6 научных статей, 1 коллективной монографии; лично сделал доклад на 22 научных конференциях.

Объем и структура диссертации. Диссертация изложена на 159 странице машинописного текста, состоит из введения, 6 глав, заключения, выводов и списка литературы. Работа содержит: 60 таблиц, 41 рисунок. Использовано 167 источников литературы, из них 17 на иностранных языках.

Благодарности. Автор выражает глубокую признательность научному руководителю Панову Алексею Валерьевичу, сотрудникам испытательной лаборатории и лаборатории радиоэкологии и агроэкологического мониторинга НИЦ «Курчатовский институт» – ВНИИРАЭ за аналитическую помощь в проведении исследований, член-корреспонденту РАН, профессору Н.И. Санжаровой и доктору биологических наук В.К. Кузнецову за консультационную помощь, а также сотрудникам ФГБНУ Тульского НИИ сельского хозяйства за предоставленную возможность работы на опытно-экспериментальной базе института.

ГЛАВА 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

1.1. Проблемы техногенного загрязнения сельскохозяйственных угодий в Российской Федерации

По данным Росреестра на 01.01. 2022 г. площадь земельного фонда РФ составила 1713 млн. га, из которых для сельскохозяйственного оборота пригодно менее четверти или 379 млн. га. (рисунок 1) [2, 5, 7, 9, 53].



Рисунок 1 – Распределение земель сельскохозяйственного назначения по территории Российской Федерации, % [53-55]

Общая площадь деградированных сельскохозяйственных угодий России составляет свыше 50%, причем доля нарушенных почв неуклонно растет. Практически во всех регионах России снижается содержание элементов питания и гумуса в почвах сельскохозяйственных угодий. Стремительно растут площади почв, загрязненных, засоленных и захламленных промышленными и бытовыми отходами (рисунок 2) [2, 9, 54-55].

В Московской области нарушенные и слабонарушенные территории составляют примерно 80% общей площади области, на севере Нечерноземной зоны 5-20% пашни, в Центральном федеральном округе 10-20%, в южных регионах до 50% [3, 9].



Рисунок 2 – Процессы деградации земель по регионам России (по данным почвенного факультета МГУ) [54-55]

Основными источниками поступления антропогенных загрязнителей на аграрные и природные экосистемы являются [56]:

- 1) промышленность – твердые, жидкие и газообразные выбросы и сбросы предприятий промышленности и энергетики [1];
- 2) автотранспорт – газообразные (выхлопные газы), жидкие (эксплуатационные жидкости) и твердые выбросы (расходные материалы, сажа) [1];
- 3) сельскохозяйственные – отходы животноводческих комплексов, сырье используемое для производства минеральных удобрений и средства химической защиты растений от болезней и вредителей (пестициды и т.д.) [1];
- 4) коммунально-бытовые - отходы жизнедеятельности человека [1].

Классификация источников загрязнения сельскохозяйственных угодий по степени воздействия представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Основные промышленные источники загрязнения сельскохозяйственных угодий [1, 56]

Виды источников (отрасли промышленности)	Радиоактивные вещества	Химические вещества			Взвешенные частицы	Степень воздействия
		пестициды	тяжелые металлы	оксиды		
Металлургия	-	-	+	+	+	СН (СР)
Химическая промышленность	-	+	+	+	+	СР

Нефтехимическая	-	-	+	+	+	СР
Энергетика на ископаемом топливе	+	-	+	+	+	СР
Ядерная энергетика	+	-	-	-	-	-
Целлюлозно-бумажная	-	-	-	+	+	Н
Пищевая	-	-	-	-	+	Н
Автомобильный транспорт	-	-	+	-	+	Н

СН - сильное, СР - среднее, Н – низкое

По токсичности и опасности для человека выделяют три класса химических веществ (таблица 2).

Таблица 2 – Класс опасности химических веществ [57]

Класс опасности	Химическое вещество
I	Кадмий, мышьяк, цинк, ртуть, свинец, селен, бенз(а)пирен, фтор
II	Никель, медь, бор, кобальт, хром, молибден, сурьма
III	Марганец, барий, вольфрам, ванадий, стронций, ацетофенон

В сельскохозяйственные почвы поступление поллютантов происходит при внесении химических соединений, используемых в качестве агроулучшителей и сырья для их производства (минеральные) и органические удобрения, осадки сточных вод, силикагели, шлаки, фосфогипс и др.), а так же средств защиты растений (таблица 3) [1].

Таблица 3 – Основные источники загрязнения, связанные с ведением сельского хозяйства [1]

Виды источников	Пестициды	Тяжелые металлы	Другие токсиканты	Степень воздействия*
Средства химизации	-	+	+	Н
Средства защиты растений	+	+	-	СР
Предприятия по переработке	-	-	+	Н
Склады химикатов	+	+	+	СР (Н)
Склады удобрений	-	+	+	СР (Н)
Фермы и животноводческие комплексы	-	-	+	СР (Н)

* СР - среднее, Н - низкое

1.2. Рейтинг опасности техногенных загрязнителей

В соответствии с токсичностью, персистентностью в почве и растениях, а также миграционной подвижностью класс опасности химических веществ устанавливают не менее чем по 3 показателям. При оценке опасности загрязнения почв аграрных экосистем химическими веществами учитываются также фактические уровни содержания элемента, класс

опасности, буферность почвы, влияющая на подвижность элементов, характер землепользования [1].

Характерный [58] для современных условий рейтинг наиболее значимых загрязнителей можно представить в виде убывающего по степени опасности ряда [1]:

1. Тяжелые металлы: Cd > Pb > Zn > Hg > Ni > Co > Se;
2. Другие токсичные элементы: As, Al, F;
3. Пестициды: препараты группы 2,4-Д, ГХЦГ, фосфорорганические соединения (карбофос, метафос и др.);
4. Радионуклиды (^{90}Sr , ^{137}Cs);
5. Нитраты, нитриты, нитрозамины;
6. Органические синтетические и природные соединения (в частности, диоксины);
7. Электромагнитные излучения (ЭМИ) неионизирующей природы (УФ-В-радиация, ЭМИ СВЧ-диапазона) [1].

1.3. Тяжелые металлы в компонентах окружающей среды

Термин тяжелые металлы (ТМ), характеризующий большую группу загрязняющих веществ, получил в последнее время широкое распространение. В различных научных и прикладных работах авторы по-разному трактуют значение этого понятия. В качестве критериев принадлежности используются многочисленные характеристики: атомная масса, плотность, токсичность, распространенность в природной среде, степень вовлеченности в природные и техногенные циклы. В некоторых случаях под определение тяжелых металлов попадают элементы, относящиеся к хрупким (например, висмут) или металлоидам (например, мышьяк) [59]. В связи с этим количество элементов, относимых к группе ТМ, изменяется в широких пределах.

В работах, посвященных проблемам загрязнения окружающей природной среды и экологического мониторинга к ТМ относят более 40 металлов периодической системы Д.И. Менделеева с атомной массой свыше 50 атомных единиц: V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Mo, Cd, Sn, Hg, Pb, Bi и др. [60]. При этом немаловажную роль в категорировании ТМ играют следующие условия: высокая токсичность для живых организмов в относительно низких концентрациях, а также способность к биоаккумуляции.

Так, в работах Ю.А. Израэля в перечне химических веществ, подлежащих определению в природных средах на фоновых станциях в биосферных заповедниках, в разделе тяжелые металлы названы Pb, Hg, Cd, As [61]. С другой стороны, согласно решению «Целевой группы» по выбросам тяжелых металлов, работающей под эгидой Европейской Экономической

Комиссии ООН и занимающейся сбором информации о выбросах загрязняющих веществ в европейских странах к ТМ были отнесены только Zn, As, Se и Sb [40, 61-62]. По определению Н. Реймерса отдельно от тяжелых металлов стоят благородные и редкие металлы, соответственно, остаются только Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg. В прикладных работах к числу тяжелых металлов чаще всего добавляют Pt, Ag, W, Fe, Au, Mn. По классификации Н. Реймерса, 1992 г. тяжелыми следует считать металлы с плотностью более 5 г/см³ [63]. По биологической классификации химических элементов ТМ принадлежат к группам микро-и ультрамикроэлементов [64].

Таким образом, к тяжелым металлам по мнению большинства исследователей относятся Pb, Cu, Zn, Ni, Cd, Co, Sb, Sn, Bi, Hg, Cr, V, Mn. Тяжелые металлы при избыточном поступлении в объекты окружающей среды ведут себя, как токсиканты и экотоксиканты. При этом, к токсикантам относятся элементы и соединения, оказывающие вредное воздействие на отдельный организм или группу организмов, а экотоксикантами являются элементы или соединения, негативным образом воздействующие не только на отдельные организмы, но и на экосистему в целом. Специалистами по охране окружающей среды среди металлов-токсикантов выделена приоритетная группа: Cd, Cu, As, Ni, Hg, Pb, Co, Sb, Zn и Cr как наиболее опасные для здоровья человека и животных. Из них Hg, Pb и Cd наиболее токсичны (рисунок 3) [59].

																ТМ							ТМД	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18							
				23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34									
4				V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se									
5	37	38	39	40	41	42		44	45	46	47	48	49	50	51	52								
	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo		Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te								
6	55	56	57	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83									
	Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi									
				58	59	60																		
				Ce	Pr	Nd																		
								62	63	64	65	66	67	68	69	70	71							
								Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu							
				90		92																		
				Th		U																		

Рисунок 3 – Фрагмент длиннопериодной системы элементов Д.И. Менделеева, включающей тяжелые металлы (ТМ) и тяжелые металлоиды (ТМД) [26]

Содержание ТМ в земной коре. Оценка среднего содержания химических элементов в земной коре выражается числами, которые называются «кларками» (таблица 4). Содержание элементов дается в весовых процентах, иногда в частях на миллион (ppm) или в граммах на тонну (г/т). Кларки элементов служат эталоном сравнения концентраций химических элементов. Значения кларков позволяют судить о нарушении обычных отношений между элементами и указывают на наличие источников загрязнения [65].

Таблица 4 – Кларковое содержание ТМ в почвах, мг/кг [66]

Элемент	Кларк	Элемент	Кларк
Mn	850	Ag	0,10
Sr	300	Co	8,00
Cr	200	Cd	0,05
Zn	50	As	5,00
Ni	40	Mo	2,00
Cu	20	Hg	0,01
Pb	10	V	100,00

Валовое содержание ТМ в естественных почвах обусловлено рядом факторов, основными из которых является направленность и интенсивность процессов почвообразования, а также их содержание в материнской породе. Минимальные значения содержания ТМ в различных типах почв характеризуют их фоновое количество (таблица 5). Максимальные значения указывают на существенное загрязнение почв [67].

Таблица 5 – Содержание тяжелых металлов в почвах России, мг/кг [67]

Тип почвы	Hg	Pb	Cd	Cr	Co	Zn	Ni
Дерново-подзолистые	0,01-0,75	3-17	0,01-2,50	10-181	3-13	5-62	6-25
Серые лесные	0,03-0,80	10-25	0,1-0,7	25-250	2-12	20-63	11-30
Черноземы	0,03-0,40	13-30	0,4-1,7	20-287	9-13	29-63	20-70
Каштановые	0,01-0,47	10-27	0,07-0,4	71-330	5-15	42-52	20-45
Красноземы	0,03-0,08	10-38	0,12-0,20	80-200	1-2	47-70	25-65
Торфяные	0,01-0,03	3-24	0,17-0,20	3-90	1-10	7-62	2-65

Миграция тяжелых металлов и металлоидов в окружающую среду и организм человека. Основная масса загрязняющих веществ входит в состав атмосферных выпадений и аэрозолей. В распределении ТМ по фракциям аэрозолей соблюдается закономерность связанная с тем, что главнейшие химические элементы, образующие горные породы (петрогенные элементы), к которым относятся наиболее распространенные элементы земной коры (Si, Al, Fe, Ca, Mg, K и др.), а также элементы с относительно высокими кларками (Fe, Al, Si, Mn, Cu, Zn, Cr) связаны преимущественно с мелко- и крупнодисперсными аэрозолями (0,5-2,0 мкм и более), а более токсичные элементы с низкими кларками (Cd, Pb, Sb, As, Hg) находятся в субмикронной или газовой фазах. Мельчайшие фракции аэрозоля имеют низкие скорости осаждения и высокую миграционную способность, что приводит к их трансграничному распространению [68].

Загрязнение сельскохозяйственных угодий ТМ происходит в результате рассеивания промышленных выбросов в атмосфере и выпадения их с атмосферными осадками. Около 50 % поступления ТМ в пахотную почву связано с внесением фосфорных удобрений, а также удобрений, получаемых с использованием ортофосфорной кислоты - аммофосы, аммофоски, нитрофоски. Навоз и известь также содержат ТМ. Применяемые в настоящее время в качестве органических удобрений осадки сточных вод, компосты из них и переработанные бытовые

отходы (ПБО) содержат в своем составе ТМ и примесные элементы. Вместе с тем значимость этих источников загрязнения невелика, так как в качестве удобрений в настоящее время используется только 4-6% осадков сточных вод [1].

К отраслям промышленности, загрязняющим окружающую среду ТМ, относятся черная и цветная металлургия, добыча твердого и жидкого топлива, горно-обогатительные комплексы, стекольное, керамическое, электротехническое производство и др. Котельные, работающие на твердом и жидком топливе, загрязняют окружающую среду не только ТМ, но и различными оксидами. Сжигание мусора сопровождается поступлением в биосферу целого ряда тяжелых металлов: Cd, Hg, Pb, Cr и др. Для крупных городов с многопрофильной промышленностью характерно присутствие в окружающей среде не отдельного загрязнителя, а ассоциации тяжелых металлов, способных оказывать комбинированное действие на организм, при котором может наблюдаться как суммирование эффектов, так и их потенцирование [69-70]. Опасные уровни загрязнения окружающей среды ТМ отмечаются на многих промышленно развитых территориях [67, 70-71].

Транспорт является источником более половины всех выбросов в атмосферу. В результате интенсивного движения транспорта вдоль автомагистралей образуются своеобразные техногенные аномалии. Почвы придорожной зоны содержат Zn и Cu в несколько десятков и даже сотен раз больше, чем почвы, удаленные от автомагистралей. В придорожной полосе накопление ТМ в кормовых и овощных растениях часто достигает уровня, оказывающего вредное влияние на организм человека и животных [59].

Кроме антропогенных источников загрязнения среды обитания тяжелыми металлами существуют и другие, естественные, например вулканические извержения. Увеличение концентрации металлов-токсикантов в поверхностных водах может происходить в результате кислотных дождей, приводящих к растворению минералов и пород, омываемых этими озерами. Все эти источники загрязнения вызывают в биосфере или ее составляющих увеличение содержания металлов-загрязнителей по сравнению с естественным, так называемым фоновым уровнем [59].

На концентрацию ТМ оказывают влияние свойства почв. В почвах тяжелого гранулометрического состава, как правило, обнаруживаются более высокие концентрации ТМ, песчаные и супесчаные почвы в меньшей степени накапливают их. Значительное влияние на концентрацию ТМ оказывают кислотно-основные свойства почв. В условиях кислой среды нерастворимая часть фракции ТМ переходит в растворимые формы, тем самым концентрация подвижных форм ТМ в кислых почвах может нарастать [72].

Наиболее опасными по степени загрязнения ТМ являются гумусированные и глинисто-суглинистые щелочные почвы: темно-серые лесные, черноземы и темно-каштановые с высокой

аккумулятивной способностью. В эти почвы, расположенные преимущественно в европейской части России (Белгородская, Тамбовская, западная часть Ростовской области, Ставропольский край), ранее вносились наиболее высокие дозы удобрений.

В тоже время черноземы и серые лесные почвы Поволжья, Закавказья, Тюменской области испытывают значительно меньшую агрогенную нагрузку. Повышенной опасностью загрязнения почв ТМ характеризуются промышленно развитые Московская и Брянская области. Локальное загрязнение почв ТМ связано, прежде всего, с крупными городами и промышленными центрами (рисунок 4) [9, 73]. При отсутствии хронического загрязнения может наблюдаться «самоочищение» и первый период полуудаления ТМ для почв варьируется в широких пределах: для Zn 70-510, для Cd 13-1100, Cu 310-1500 и для Pb 740-5900 лет [8]

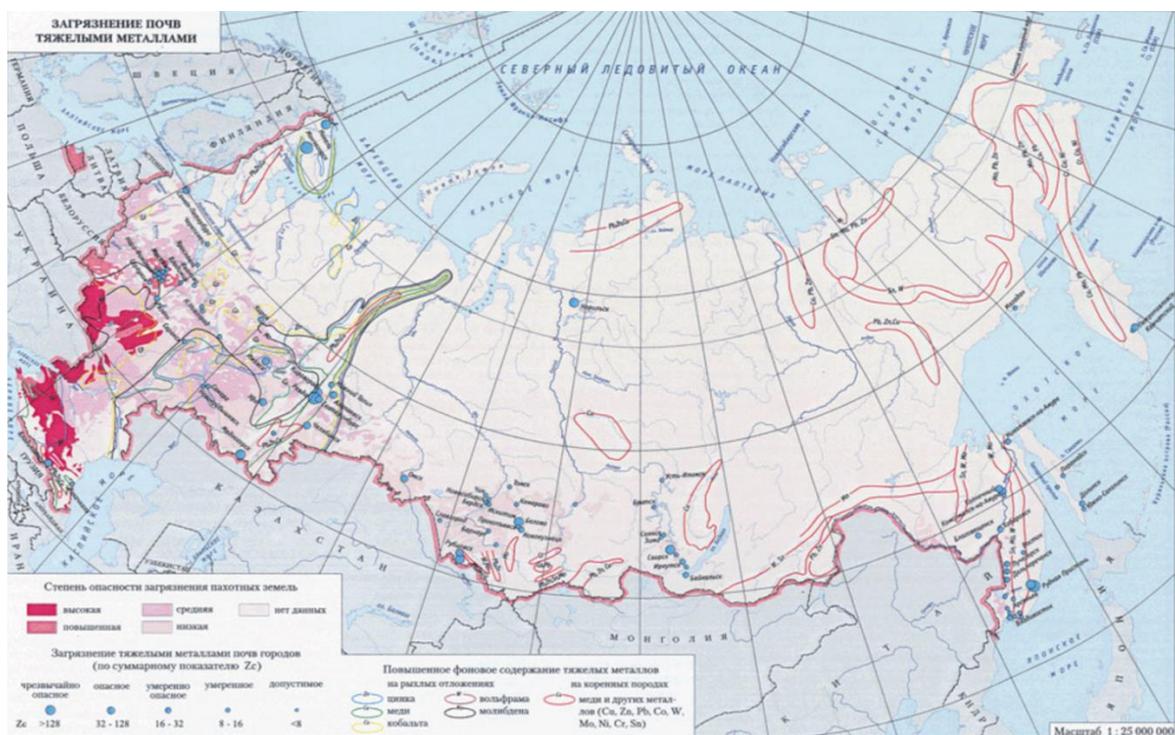


Рисунок 4 – Загрязнение почв тяжелыми металлами [73]

В 2018 г. валовый объем выбросов загрязняющих веществ в целом по территории Российской Федерации увеличился на 0,8% по сравнению с 2017 г. В этом же году выбросы от стационарных источников сократились на 2,3%, а в 2019 году на 1,0% по сравнению с 2017 годом [74-75]. С 2019 года изменилась методика расчета выбросов загрязняющих веществ стационарными и передвижными источниками в связи с чем сравнение данных за последние 10 лет не представляется возможным. В разрезе субъектов Центрального федерального округа (ЦФО) за период 2010-2017 гг. в Рязанской области произошло наибольшее сокращение объема выбросов загрязняющих веществ (на 12,1%), в Ярославской области – на 10,2%, в Ивановской области – на 9,9%, в Курской области – 7,7%, в Липецкой области – на 4,1%. В остальных 13-ти

субъектах объемы выбросов увеличились. Наибольший показатель валового объема выбросов загрязняющих веществ в 2017 г. отмечен в г. Москва и Московской области (2057,1 тыс. т). При этом выбросы от передвижных источников составили более 86% (рисунок 5) [3, 9, 75-76].

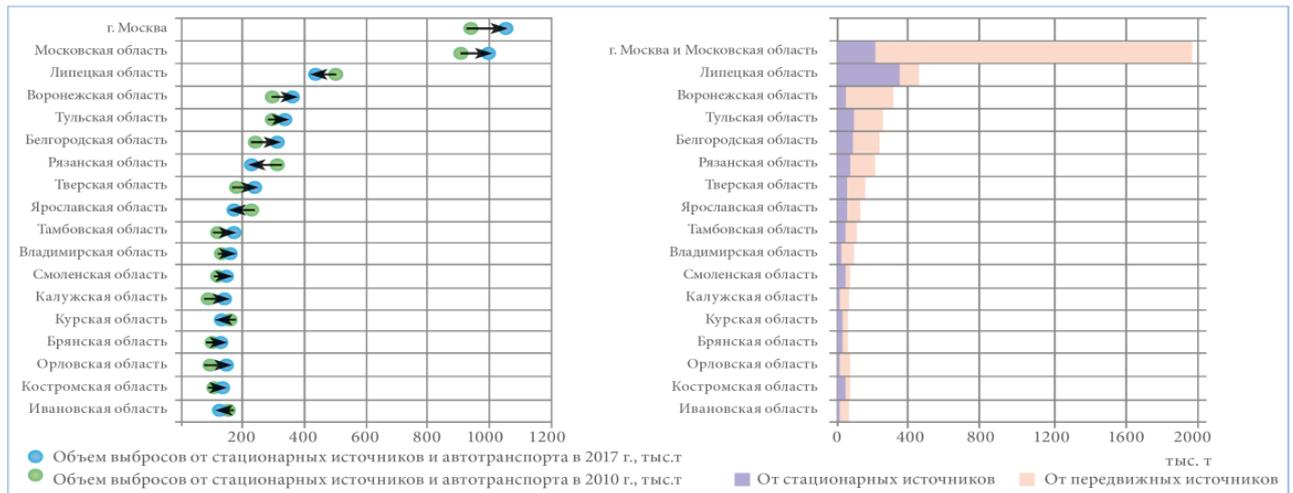


Рисунок 5 – Тенденция изменения объемов выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух по субъектам ЦФО в 2017 г. по сравнению с 2010 г. [9, 76]

Динамика структуры выбросов от стационарных источников в 2010-2017 гг. имела положительную направленность: выбросы твердых веществ сократились на 33%, диоксида серы – на 18%, оксидов азота – на 8%, оксида углерода – на 7%, летучих органических соединений – на 11%. Основной вклад в структуру выбросов от стационарных источников в 2017 г. внесли предприятия черной металлургии (оксиды азота и углерода). Лидерами по выбросам оксида азота в 2017 г. были г. Москва и Московская область, по оксидам углерода – Липецкая и Тульская области. В 2017 г. наибольший объем инвестиций в основной капитал, направленных на охрану атмосферного воздуха, отмечен в Липецкой области, наименьший – в Тамбовской области [3, 76].

Зоны, в которых содержание ТМ в почвах сельскохозяйственных угодий в десятки и сотни раз превышают ПДК, отмечаются в Кемеровской, Белгородской, Челябинской и в ряде других областей России [4].

Средними значениями характеризуются районы с преобладанием металлургии и машиностроения в европейской части России, Западной Сибири и Дальнего Востока. Низкой степенью загрязнения отличаются курортные зоны, территории заповедников, регионы с низкой степенью развития промышленности (таблица 6) [4].

Таблица 6 – Экономические районы с зафиксированными превышениями ПДК по ТМ [3, 9, 76]

Экономический район	Область
Северный	Мурманская, Архангельская
Северо-Западный	Ленинградская, Калининградская, республике Коми

Центральный	Московская, Смоленская, Тульская, Брянская и Липецкая
Центрально-Черноземный	Липецкая
Волго-Вятский	Вологодская, Кировская, Мордовия
Поволжский	Ульяновская, Астраханская
Уральский	Челябинская, Оренбургская, Свердловская
Западно-Сибирский	Кемеровская
Восточно-Сибирский и Дальневосточный	Читинская, Бурятия, Приморский край

Во всех регионах с повышенным содержанием ТМ в почвах отмечается и наличие в них вредных органических загрязнителей, привнесенных с выбросами предприятий промышленности и энергетики [4].

Накопление ТМ в почве отрицательно влияет на ее плодородие, микробиологическую деятельность, рост и развитие растений, а также на качество растениеводческой продукции. При обычной (фоновой) концентрации ТМ в почве растения способны регулировать их поступление через корневую систему. При повышенных концентрациях ТМ в почве защитные и регулирующие механизмы растений уже не могут препятствовать поступлению ТМ в вегетативные органы [4].

Характер распределения ТМ в биомассе растений следующий: больше всего их накапливается в корнях, корнеплодах, клубнях, несколько меньше - в надземных зеленых органах и еще меньше - в плодах. Часть ТМ может проникать в растительный организм не через корни, а с поверхности листьев. Доступность их через листья неодинакова и уменьшается в ряду: Cd, Pb, Zn, Cu, Mg, Fe [59].

Поступившие в окружающую среду соединения ТМ загрязняют атмосферный воздух, воду, почву, попадают в растения и организмы животных, населяющих данную местность. Миграция металлов в биосфере позволяет объяснить пути поступления их в организм человека (рисунок 6) [64].

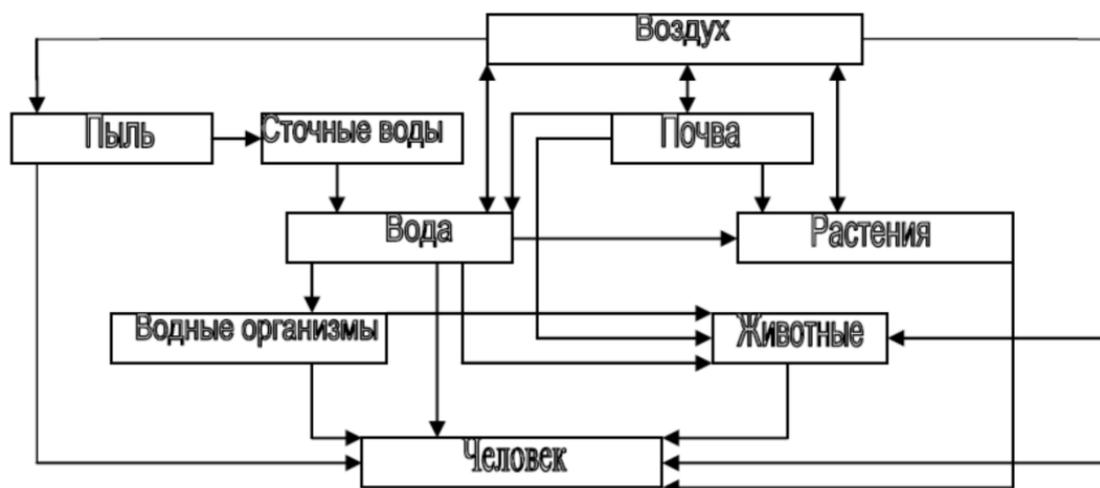


Рисунок 6 – Пути поступления ТМ в организм человека [64]

Соединения ТМ поступают в организм человека преимущественно через желудочно-кишечный тракт с пищевыми продуктами, водой, в меньшей степени — через органы дыхания. ТМ поступают также через кожу при контакте с загрязненными средами: воздухом, водой. Тяжелые металлы, попадая в организм человека, накапливаются по ходу биологической цепи: почва (вода) — растение — животное — продукция — человек. Поэтому необходим тщательный токсикологический контроль продуктов, который должны обеспечивать соответствующие службы: станции защиты растений, агрохимические и ветеринарные лаборатории, центры государственного санитарно-эпидемиологического надзора [59, 64].

1.4. Нормирование содержания тяжелых металлов в объектах природных и аграрных экосистем

В настоящее время наиболее обоснованным является антропоцентрический принцип регулирования техногенных воздействий, основой которого считается гигиеническое нормирование. Федеральный закон «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» [77] определяет понятие гигиенического норматива: «установленное исследованиями допустимое максимальное или минимальное количественное и качественное значение показателя, характеризующего тот или иной фактор среды обитания с позиций его безопасности и безвредности для человека». В ст. 21 отмечается: «В почвах городских и сельских поселений и сельскохозяйственных угодий содержание потенциально опасных для человека химических и биологических веществ, биологических и микробиологических организмов, а также уровень радиационного фона не должен превышать предельно допустимые концентрации (уровни), установленные санитарными правилами» [77].

В соответствии со ст. 21 закона РФ «Об охране окружающей среды» [78] при нормировании в области охраны окружающей среды используются нормативы качества, которые «устанавливаются для оценки состояния окружающей среды в целях сохранения естественных экологических систем, генетического фонда растений, животных и других организмов». К ним относятся нормативы, «установленные в соответствии с химическими показателями состояния окружающей среды, в том числе нормативы предельно допустимых концентраций химических веществ...». Таким образом, официально утверждаемым нормативом являются предельно допустимые концентрации (ПДК) веществ или уровни воздействия (ПДУ), но вопрос о принципах и методологических подходах, которые должны использоваться при их определении, остается дискуссионным. При всей важности гигиенического нормирования он недостаточен для предотвращения негативного воздействия техногенных факторов разной природы на экосистемы, включая агроэкосистемы и их компоненты. При возрастании

техногенных нагрузок антропоцентрический принцип нормирования не обеспечивает в равной степени защиту человека и других живых организмов.

Экологическое нормирование приобретает особую значимость в связи с осознанием ограниченности ассимиляционной емкости природной среды, продолжающимся ухудшением экологической обстановки. Несмотря на многочисленные исследования в этом направлении, проблема до сих пор не решена, прежде всего, из-за отсутствия общепринятой концепции и методологии экологического нормирования, недостаточной нормативно правовой и методической базы, регламентирующей вопросы установления предельно допустимого уровня воздействий на компоненты экосистем, выбора критериев оценки их состояния. Большинство авторов признают, что противопоставление экологического и гигиенического нормирования (соответственно, экоцентрический и антропоцентрический принципы) противоречит принципам системности в экологии [79].

Сбалансированное сочетание экологического и гигиенического подходов наиболее актуально при регулировании воздействия техногенных факторов на аграрные экосистемы. В отличие от природных экосистем агроэкосистемы не являются саморегулируемыми: их функционирование поддерживается во многом благодаря активности человека. Специфические особенности агроэкосистем определяют их более высокую по сравнению с природными экосистемами чувствительность практически ко всем видам воздействий как природного, так и антропогенного характера.

Принимая во внимание особенности функционирования аграрных экосистем, экологическое нормирование должно быть направлено на комплексное решение проблемы: с одной стороны, сохранение целевой функции агроэкосистем (производство качественной продукции), а с другой – сохранение их биотических компонентов. Основные задачи экологического нормирования включают: поддержание в оптимальных пределах продуктивных и экологических функций почв, сохранение продуктивности культурных растений и сельскохозяйственных животных, минимизацию негативных воздействий и обеспечение безопасности продукции растениеводства и животноводства.

Препятствием для перехода к экологическому нормированию является отсутствие комплексных экологических нормативов. Наличие методической и нормативно правовой базы, регламентирующей установление предельно допустимого уровня воздействий на экосистемы и их компоненты и выработки критериев оценки их состояния, является обязательным условием практического решения задач повышения устойчивости агроэкосистем к антропогенным нагрузкам, сохранения почвенного плодородия и обеспечения экологической безопасности продовольственного сырья и продукции.

1.4.1. Нормирование тяжелых металлов в почве

В Программе глобального мониторинга, принятой в ООН в 1973 г., для нормирования рассматривались всего три тяжелых металла: Pb, Cd и Hg [80-81]. Позже в докладе исполнительного директора Программы ООН по окружающей среде (ЮНЕП) к наиболее опасным были добавлены семь тяжелых металлов: Cu, Sn, V, Cr, Mo, Co, Ni и три металлоида: Sb, As и Se [81]. Данные рекомендации до сих пор служат основой для мониторинга ТМ в почве.

В Российской Федерации в настоящее время официально утверждены гигиенические нормативы лишь для ограниченного числа химических элементов, считающихся наиболее опасными с точки зрения токсикологии [28, 42, 82]. Согласно [57] к сильно опасным относятся Hg, Se, As, Cd, Zn, Pb к умеренно опасным – Cr, Mo, Co, Cu, Ni, Sb [57]. Для одних ТМ экспериментальным путем установлены ПДК подвижных форм (Cu, Ni, Zn, Co, Cr, Mn, Pb, Hg), для других расчетным методом, заложена безопасность продуктов питания – ориентировочные допустимые концентрации ОДК (валовые формы Ni, Cu, Zn, Cd, Pb, As) [43, 82], для третьих, у которых нормативов нет, степень загрязнения почвы оценивается по эмпирическому критерию: превышение четырех фоновых значений, характерных для определенной территории в чистых или «условно» чистых почвах региона. В современных условиях общепланетарного загрязнения фоновыми считаются не зоны отсутствия антропогенного воздействия, а территории с проявлением такого воздействия в минимальной степени. [1].

С целью учета природной вариабельности свойств почв ОДК, дифференцированные для отдельных групп почв [83], заменены с 1 июля 2009 г. гигиеническими нормативами [42, 82]. Величины ОДК, разработанные для химических веществ природного происхождения, повсеместно присутствующих в почвах, продуктах питания и воде, обоснованы для трех литогеохимических групп почв (таблица 7). В основу группировки положены основные свойства почв, определяющие их буферность, в том числе устойчивость к химическому загрязнению – гранулометрический состав и кислотно-щелочные свойства [44]. Было принято во внимание также распределение основных геохимических ассоциаций почв на территории России.

Таблица 7 – Ориентировочные допустимые концентрации (ОДК) химических веществ в почве, мг/кг [42, 82]

Элемент	Класс опасности	Группа почв		
		песчаные и супесчаные	суглинистые и глинистые, pH(KCl) < 5,5	суглинистые и глинистые, pH(KCl) > 5,5
Ni	2	20	40	80
Cu	2	33	66	132
Zn	1	55	110	220

As	1	2	5	10
Cd	1	0,5	1,0	2,0
Pb	1	32	65	130

Так же стоит отметить, что нормирование содержания ТМ проводится по валовой и подвижной форме. Нормирование по валовому содержанию ТМ имеет положительные и отрицательные стороны. К положительным моментам можно отнести сравнительную простоту получения этого теста и большую гарантию сохранения в безопасности пищевой цепи, к отрицательным – невысокую коррелятивную связь между валовым содержанием тяжелых металлов в почве и их накоплением в растениях. Адекватное отражение состояния растений через валовое количество ТМ начинается только при высокой концентрации, превышающей фон в 50-100 раз [43].

Ключевым моментом нормирования является нахождение максимально недействующих доз (МНД) и минимально действующих доз (МДД). При этом ПДК определяются по признакам вредности и исходя из пороговых концентраций выбирают лимитирующий признак (ЛПВ) (таблица 8-9) [82].

Таблица 8 – Группировка почв для эколого-токсикологической оценки по содержанию валовых форм тяжелых металлов и мышьяка, мг/кг [45, 82]

Элемент	Класс опасности	Группы				
		1	2*	3	4	5
Группировка песчаных и супесчаных почв						
As	1	<1,0	1,0-2,0	2,1-4,0	4,1-6,0	>6,0
Hg	1	<1,0	1,0-2,1	2,2-4,2	4,3-6,2	>6,2
Pb	1	<16,0	16,0-32,0	32,1-64,0	64,1-96,0	>96,0
Zn	1	<27,0	27,0-55,0	55,1-110,0	110,0-165,0	>165,0
Cd	1	<0,25	0,26-0,5	0,6-1,0	1,1-1,5	>1,5
Cu	2	<16,0	16,0-33,0	33,1-165,0	165,1-330,0	>330,0
Ni	2	<10,0	10,0-20,0	20,1-100,0	100,1-200,0	>200,0
Cr**	2	<50,0	50,0-100,0	101,0-5000,0	501,0-1000,0	>1000,0
Группировка суглинистых и глинистых почв с рН менее 5,5						
As	1	<2,5	2,5-5,0	5,1-10,0	10,1-15,0	>15
Pb	1	<32	32-65	66-130	131-195	>195
Zn	1	<55	55-100	101-220	221-330	>330
Cd	1	<0,5	0,5-1,0	1,1-2,0	2,1-3,0	>3,0
Cu	2	<33	33-66	67-330	331-660	>660
Ni	2	<20	20-40	41-200	201-400	>400
Группировка суглинистых и глинистых почв с рН более 5,5						
As	1	<5	5-10	11-20	21-30	>30
Pb	1	<65	65-130	131-260	261-390	>390
Zn	1	<110	110-220	221-400	401-660	>660
Cd	1	<1,0	1,0-2,0	2,1-4,0	4,1-6,0	>6
Cu	2	<66	66-132	133-660	661-1320	>1320
Ni	2	<40	40-80	81-400	401-800	>800

* Численное значение верхней границы 2-й группы соответствует ПДК (ОДК) элемента в почвах

** Только для трехвалентного Cr

Следует отметить, что обоснование ПДК ТМ в почве базировалось на использовании четырех признаков вредности [41, 67]:

– общесанитарный, характеризующий влияние вещества на самоочищающую способность почвы и почвенный микробоценоз в количествах, не изменяющих эти процессы, мг/кг воздушно-сухой массы почвы;

– миграционный воздушный, характеризующий переход химического вещества из пахотного слоя почвы в атмосферный воздух в количествах, при которых не происходит превышение ПДК для атмосферного воздуха, мг/м³;

– миграционный водный, характеризующий переход вещества из пахотного слоя почвы в подземные грунтовые и поверхностные воды в количествах, при которых не происходит превышения величины ПДК для воды водоемов, мг/л;

– транслокационный, характеризующий способность вещества переходить из пахотного слоя почвы через корневую систему растений и накапливаться в зеленой массе и генеративных органах в количестве, не превышающем ПДК для данного вещества в пищевых продуктах, мг/кг.

Вместе с тем лишь в случае As, Hg и Zn в качестве лимитирующего признака был принят транслокационный, тогда как для остальных металлов основанием для назначения ПДК в почве служил общесанитарный признак вредности. По этому признаку пороговой считается концентрация химического вещества, не вызывающая на 5–7 сутки после внесения в почву изменение общей численности микроорганизмов основных физиологических групп (бактерии, грибы и т.п.) более чем на 50 % и ферментативной активности почв (инвертазной, дегидрогеназной, нитрифицирующей и т.п.) более чем на 25 % относительно аналогичных показателей в контрольных почвах.

В техногенно загрязняемых природных объектах обычно накапливается не один, а несколько ТМ. При совместном их воздействии возможно проявление различных по направлению эффектов [43]. В связи с этим необходимо принимать во внимание их возможное сочетанное действие (увеличение или снижение доступности к поглощению растениями).

К категории загрязненных относятся почвы, в которых концентрация ТМ находится на уровне или выше предельно допустимых концентраций (ПДК) [84], методические указания по обследованию почв сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства на содержание ТМ устанавливают градацию почв по количеству валовых и подвижных форм тяжелых металлов (таблица 8-9) [45, 84]. В настоящее время в России действует общетоксикологический подход [57], подразделяющий тяжелые металлы/металлоиды на три класса по степени опасности (таблица 2). Однако эта универсальная классификация элементов не учитывает

особенности депонирующих сред: она больше пригодна для воздуха и воды, чем для почв. Поллютанты, попадающие в почву, взаимодействуют с активной ее фазой (глинистыми минералами, гидроксидами и оксидами железа и марганца, органическим веществом), вследствие чего меняют свою активность: увеличивая или уменьшая свою опасность. Например, высокая биологическая опасность Pb проявляется в опытах с использованием его солей. Но в почве Pb образует прочные соединения с органическими лигандами, комплексы, которые становятся гораздо менее опасными для живых организмов, чем ионы металла [1, 57].

Таблица 9 – Группировка почв для эколого-токсикологической оценки по содержанию подвижных форм тяжелых металлов, мг/кг [1, 45, 82]

Элемент	Класс опасности	Группы				
		1	2*	3	4	5
Pb	1	<3	3,0-6,0	6,1-12,0	12,1-18,0	>18,0
Zn	1	<10,0	10,0-23,0	24,0-46,0	47,0-69,0	>69,0
Cu	2	<1,5	1,5-3,0	3,1-15,0	15,1-30,0	>30,0
Ni	2	<2,0	2,0-4,0	4,1-20,0	20,1-40,0	>40,0
Cr**	2	<3,0	3,0-6,0	6,1-30,0	30,1-60,0	>60,0
Co	2	<2,5	2,5-5,0	5,1-25,0	25,1-50,0	>50,0

* Численное значение верхней границы 2-й группы соответствует ПДК (ОДК) элемента в почвах

** Только для трехвалентного Cr

Градации почв по содержанию валовых и подвижных форм ТМ включают 5 групп. Первая группа соответствует 0,5 ПДК (ориентировочно допустимая концентрация (ОДК)), значение верхней границы 2-ой группы соответствует ПДК (ОДК). Почвы, вошедшие в 3 группу, относятся к территориям с неудовлетворительной экологической ситуацией, в 4 – к зоне чрезвычайной экологической ситуации, в 5 группу – к зоне экологического бедствия [1, 45, 82].

В России в качестве ПДК тяжелых металлов в почве предполагается использование нескольких вариантов. В.П. Цемко [85-86] допускает увеличение содержания тяжелых металлов в почвах до уровня двух кларков, что обеспечивает ее сохранение в группе незагрязненных почв. Однако ориентация на кларки, представляющие собой среднее содержание ТМ в породах (почвах) мира или крупного региона, малоперспективна, поскольку в данном случае исчезают локальные особенности химического состава объектов исследования. Это обстоятельство было учтено Э.П. Махонько который в качестве ПДК предлагает удвоенное местное фоновое содержание ТМ в почвах [43]. В этом случае удвоенный фон у многих ТМ окажется в пределах естественных флуктуации их валового содержания.

Нормирование валового содержания ТМ в почвах с кислой средой выполнено А.И. Обуховым и Л.Л. Ефремовой (таблица 10). Оно охватывает весь возможный диапазон концентраций шести ТМ в почвах, имеющих рН 4-6. Количество тяжелых металлов, характеризующее низкий уровень загрязнения почвы рассматривается как предельно

допустимое (примерно в 3-10 раз выше фонового содержания), которое встречается в незагрязненных почвах Нечерноземья [43].

Таблица 10 – Шкала экологического нормирования ТМ (по валовому содержанию) для геохимической ассоциации почв со слабокислой и кислой реакцией, мг/кг воздушно – сухой почвы [43]

Градация	Hg и Cd	Cu	Pb	Ni	Zn
Уровень содержания:					
очень низкий	<0,05	<5	<5	<10	<15
низкий	0,05-0,10	5-15	5-15	10-20	15-30
средний	0,10-0,25	15-50	15-35	20-50	30-70
повышенный	0,25-0,50	50-80	35-70	50-70	70-100
высокий	0,50-1,00	80-100	70-100	70-100	100-150
очень высокий	1,00-2,00	100-150	100-150	100-150	150-200
Уровень загрязнения					
низкий (ПДК)	1-2	100-150	100-150	100-150	150-200
средний	2-5	150-250	150-500	150-300	200-500
высокий	5-10	250-500	500-1000	300-600	500-1000
очень высокий	>10	>500	>1000	>600	>1000

Для сравнения с российскими критериями содержания микроэлементов в почвах, следует рассмотреть используемые в Европейских странах подходы к нормированию загрязнения ТМ почв. В большинстве стран Европы используется система показателей качества почв — Soil Screening Value (SVs). Они устанавливают пределы безопасного для человека содержания загрязняющего вещества в почвах, границы, превышение которых свидетельствует о невозможности использования почв рассматриваемой территории для определенного вида деятельности. На основе SVs выделяются три уровня риска: незначительный (Target Value) — концентрация, при которой вещество или элемент не влияет на естественные свойства почвы; средний или предостерегающий риск (Middle, Trigger Value) — средняя между Target и Intervention концентрация, при которой необходимо исследование возможности применения почвы; неприемлемый (Intervention Value) — максимально возможная концентрация, которая допускает использование почвы для конкретного вида хозяйственной деятельности [46].

Почвенные SVs широко применяются в различных странах. Однако не везде определены и используются показатели для всех трех уровней риска, в некоторых странах применяют один или два из них. В большинстве стран, наиболее активно используемым показателем SVs является нижняя граница предостерегающего уровня (Trigger Value), при превышении которого заключение по использованию почвы принимается после исследований природных условий и характера использования территорий. Предостерегающие (Trigger) значения SVs, являются приблизительным аналогом используемых в России нормативов ПДК и ОДК, ниже этих показателей фоновые концентрации элементов могут быть превышены, но опасности для экосистемы, грунтовых вод, растений и человека не возникает (таблица 11) [46].

Таблица 11 – Предельные значения валового содержания микроэлементов в почвах, используемые в некоторых странах, мг/кг [87-88]

Элемент Страна	As	Pb	Cd	Cr	Cu	Ni	Hg	Zn	Co
Россия*	2-10	32-130	0,5-2,0	-	33-132	20-80	-	55-220	-
Бельгия**	12-19	40-85	0,2-0,8	34-37	14-17	9-24	0,05-0,55	62-67	-
Нидерланды**	29	85	0,8	100	36	35	0,3	140	9,0
Словакия**	10-30	25-115	0,4-1	50-90	30-70	40-60	0,15-0,75	100-200	15-20
Швеция**	15	80	0,4	120	100	35	1	350	30
Австрия***	20	100	1	100	100	60	1	300	-
Дания***	10	50	0,3	50	30	10	0,1	100	-
Финляндия***	5	60	1	100	100	50	-	200	20
Чехия***	30	80	0,5	130	70	60	0,4	-	-
Италия****	20	100	2	150	120	120	1	-	-
Литва****	10	100	3	100	110	75	1,5	-	-

* Ориентировочно допустимые концентрация (ОДК)

** Безопасное содержание (верхняя граница фона или условного фона)

*** Приемлемый риск (Нижняя граница)

**** Приемлемый риск (Верхняя граница)

В большинстве Европейских стран система показателей степени загрязнения почв (*SVs*) создана без учета почвенных характеристик, но в некоторых странах при расчете предельных концентраций микроэлементов свойства почв учитываются [47].

Сравнение нормативов валовых концентраций микроэлементов в почвах, применяемых в России и в странах Европы вполне сопоставимы. В таблице 12 для каждой страны приведено по одному, минимальному из существующих в стране, нормативному критерию *SVs* (верхняя граница фоновых концентраций или показатель предостерегающего уровня загрязнения, или самый жесткий из существующих норматив неприемлемого риска). При низком уровне загрязнения почв (концентрации ниже значений, приведенных в графе "ограничение сельскохозяйственного использования") в России не допускается использование продукции растениеводства только для детского питания [47, 82]. В противоположность этому в некоторых странах Европы концентрации ряда элементов, соответствующие верхней границе этого уровня загрязнения, попадают в интервал "неприемлемого риска".

Таблица 12 – Гигиенические требования безопасности продовольственного сырья и продуктов [92]

Группа продуктов	Токсичные элементы, мг/кг			
	Pb	As	Cd	Hg
Зерно продовольственное, в т.ч. пшеница, рожь, тритикале, овес, ячмень, просо гречиха, рис, кукуруза, сорго	0,5	0,2	0,1	0,03
Семена зернобобовых, в т.ч. горох, фасоль, маш, чипа, чечевица, нут	0,5	0,3	0,1	0,02
Семена масличных культур (подсолнечника, сои, хлопчатника, кукурузы, льна, горчицы, рапса, арахиса)	1,0	0,3	0,1	0,05

Фрукты, ягоды, виноград	0,4	-	-	-
Грибы	-	0,5	0,1	0,05
Сахар	0,5	1,0	0,05	0,01
Молоко цельное и молочные продукты (сливки, творог, кисломолочные продукты)	0,1	0,05	0,03	0,005
Мясо животных всех видов парное, охлажденное, замороженное	0,5	0,1	0,05	0,03
Мясо птицы, в т. ч. полуфабрикаты, охлажденное, подмороженное, замороженное	0,5	0,1	0,05	0,03
Яйца и жидкие яичные продукты (меланж, белок, желток)	0,3	0,1	0,01	0,02
Субпродукты убойных животных	0,6	1,0	0,3	0,1
Почки убойных животных	1,0	1,0	1,0	0,2
Субпродукты птиц и полуфабрикаты из них	0,6	1,0	0,3	0,1
Жир-сырец говяжий, свиной, бараний	0,1	0,1	0,03	0,03

В большинстве Европейских стран устанавливается максимальная валовая концентрация микроэлементов в почвах, не представляющая непосредственной опасности для человека или для перехода загрязняющих веществ в продукты, используемые человеком. Лишь в Великобритании, при превышении нижней границы предостерегающего риска декларируется необходимость экологических исследований [87]. Таким образом, как в России, так и в странах Европы нормирование содержания валовых форм микроэлементов в почвах ориентировано на сохранение здоровья человека или возможность ведения определенных видов хозяйственной деятельности.

Нормативы валовых концентраций микроэлементов в почвах, применяемые в России и в странах Европы, сопоставимы. Единственный элемент, содержание которого в России нормируется на несколько более низком уровне по сравнению с большинством стран Европы — это мышьяк [46].

1.4.2. Нормирование содержания тяжелых металлов в продукции растениеводства и кормах сельскохозяйственных животных

Производство экологически безопасной продукции – ключевая задача при экологизации сельскохозяйственной деятельности. Растения активно реагируют на повышение концентрации химических элементов в почве, увеличивая содержание ТМ в тканях, и накапливая их выше уровня, необходимого для обеспечения нормального роста и развития. ТМ аккумулируются с разной интенсивностью в разных частях растений. Исследования показывают, что ТМ больше всего содержится в корнях, затем идут стебли и листья и, наконец, семена, клубни, корнеплоды. Иногда содержание ТМ в корнеплодах сопоставимо с их содержанием в листьях и стеблях. Это объясняется тем, что на корнеплоде имеются корни с проводящей системой, пронизывающей его толщу.

Биодоступными для различных культур являются ТМ, находящиеся в виде свободных ионов в почвенном растворе, а также в виде обменных катионов из твердой фазы почвы. Степень поглощения металлов зависит от их количества, вида растений, форм соединений, состава и свойств почвы [43].

В связи с выше сказанным на загрязнённых ТМ почвах картофель дает более чистую продукцию, чем корнеплоды – морковь и редис. Поэтому при выращивании продовольственных культур на почвах, содержащих заметные количества ТМ, следует избегать размещения на них растений, у которых в пищу используются листья (салат, шпинат, лук, щавель и т. д.), стебли и корнеплоды [1, 89-90].

При нормировании ТМ в растениях, выделяются два аспекта: санитарно-гигиенический и агрономический. Первый связан с регламентацией потребления ТМ с растительной пищей человеком (животными) [91]. Агрономический аспект нормирования тяжелых металлов в растениях предусматривает сохранение их высокой жизнедеятельности, которая обеспечивает получение достаточного (экономически оправданного) урожая сельскохозяйственных культур с приемлемым товарным качеством. Оба аспекта санитарно-гигиенический (ветеринарно-санитарный) и агрономический взаимосвязаны [91].

Для оценки и предотвращения негативного воздействия продуктов питания на здоровье человека и кормов на сельскохозяйственных животных оперируют такими понятиями, как «предельно допустимая концентрация», «допустимое остаточное количество» или максимально допустимые уровни (МДУ) вещества в них. Предельно допустимая концентрация – концентрация вещества в продукции (продуктах питания, кормах), которая в течение неограниченно продолжительного времени (при ежедневном воздействии) не вызывает отклонений в состоянии здоровья человека и животных. ПДК химических веществ в пищевых продуктах устанавливают при этом с учетом допустимой суточной дозы (ДСД) или допустимого суточного поступления (ДСП) так, как разнообразие рациона и его химического состава не позволяет нормировать допустимое содержание химического вещества в каждом пищевом продукте.

В соответствии с международными требованиями, разработанными объединенной комиссией FAO/ВОЗ, необходим, в первую очередь, контроль за содержанием в пищевых продуктах следующих ТМ – Pb, Cd, As, Hg [43], так же эти требования отображены в [92].

Пищевые продукты должны удовлетворять физиологические потребности человека в необходимых веществах и энергии, отвечать обычно предъявляемым к пищевым продуктам требованиям в части органолептических и физико-химических показателей и соответствовать установленным нормативными документами требованиям к допустимому содержанию химических, радиоактивных, биологически активных веществ и их соединений,

микроорганизмов и других биологических организмов, представляющих опасность для здоровья нынешних и будущих поколений. Роспотребнадзором официально установлены санитарно-гигиенические нормативы содержания химических элементов в основных видах продукции – молоке, мясе, яйцах и других пищевых продуктах (таблица 12) [92].

подавляющее большинство опытов, посвященных определению ПДК, проводятся с одним токсичным элементом, тогда как при техногенном загрязнении в окружающую среду поступает несколько поллютантов, которым свойственны, помимо прочих, и синергические взаимодействия. ТМ могут усиливать проникновение элементов-загрязнителей в растительный организм [89].

Содержание ТМ в рационах животных должны отвечать двум основным требованиям [1, 48]:

- не вызывать токсические эффекты, приводящие к регистрируемым изменениям состояния здоровья животных, снижению их продуктивных и воспроизводительных качеств;
- обеспечивать получение продукции животноводства в соответствии с требованиями действующих санитарно-гигиенических нормативов.

Для контроля содержания ТМ в рационах сельскохозяйственных животных в 1987 году Главным управлением ветеринарии Государственного агропромышленного комитета СССР был утвержден Временный максимально допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках [93]. Данные санитарные нормативы были предназначены для использования органами ветеринарного надзора при осуществлении профилактического и текущего контроля за содержанием основных токсичных химических элементов в кормах с целью обеспечения их безвредности для сельскохозяйственных животных и профилактики загрязнения ими продуктов питания животного происхождения, а также для ветеринарно-санитарной оценки кормов и сырья для их изготовления, импортируемых из-за рубежа. Однако официально данный документ так и не был опубликован, поэтому он до сих пор носит ориентировочно-рекомендательный характер (таблица 13).

Таблица 13 – Временные максимально-допустимые уровни содержания химических элементов в кормах и кормовых добавках, мг/кг естественной влажности [48, 93]

Элемент	Зерно и зернофураж	Грубые и сочные корма	Корне-клубнеплоды	Корма микробного синтеза	Минеральные добавки	Корма для производства продуктов детского питания
Ртуть	0,1	0,05	0,05	0,1	0,1	0,05
Кадмий	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2
Свинец	5,0	5,0	5,0	5,0	50,0	2,0

Мышьяк	0,5	0,5	0,5	2,0	50,0	0,5
Медь	30,0	30,0	30,0	80,0	500,0	30,0
Цинк	50,0	50,0	100,0	100,0	1000,0	50,0
Железо	100,0	100,0	100,0	200,0	3000,0	100,0
Сурьма	0,5	0,5	0,5	2,0	5,0	0,5
Никель	1,0	3,0	3,0	3,0	20,0	1,0
Селен	0,5	1,0	1,0	2,0	5,0	0,5
Хром	0,5	0,5	0,5	2,0	5,0	0,5
Фтор	10,0	20,0	20,0	100,0	2000,0	10,0
Йод	2,0	2,0	5,0	5,0	50,0	2,0
Молибден	2,0	2,0	2,0	3,0	10,0	2,0
Кобальт	1,0	1,0	1,0	3,0	20,0	1,0

Исходя из нормативов можно рассчитать допустимые уровни (ДУ) содержания Pb и Cd в суточных рационах животных и птицы, и их средние допустимые концентрации в сухом веществе рационов зимнего стойлового периода - СДК(с) и пастбищной травы - СДК(т) по формулам 1 и 2 [1]:

$$\text{ДУ} = \text{ПДК} \times 100 / \text{Кп} \quad (1)$$

$$\text{СДК(с,т)} = \text{ДУ} \times \text{D}_к / \text{m}_к \quad (2)$$

где: ПДК - предельно-допустимая концентрация ТМ в продукции (молоко, мясо, яйца), мг/кг; Кп - величина коэффициента перехода на 1 кг продукции, % от поступления с суточным рационом; D_к – доля ТМ, вносимая в рацион кормом; m_к - масса сухого вещества (воздушно-сухой вес) корма в суточном рационе, кг.

Значения ДУ Pb и Cd рассчитываются на основании Кп из рациона в продукцию и рекомендуются при составлении рационов для животных и птицы разного возраста, физиологического состояния и хозяйственного назначения (таблица 14) [93].

Таблица 14 – Значения ДУ Pb и Cd в суточных рационах животных и птицы (расчетные данные) [1]

Животные и птица (возраст убоя на мясо)	Потребление сухого в-ва корма m _к , кг/сут*)	ДУ, мг	
		Pb	Cd
Лактирующие коровы	15,0	30,0	15,0
Дойные козы и овцы	2,5	Нет данных	
Бычки на откорме (16-18 мес.)	9,0	37,8	9,0
КРС на откорме (старше 36 мес.)	14,0	58,8	14,0
Свиньи на откорме (6-8 мес.)	3,3	20,4	8,2
Свиньи на откорме (старше 24 мес.)	7,5	46,5	18,7
Ягнята (5-6 мес.)	1,2	5,0	1,2
Овцы и козы на откорме (8-10 мес.)	1,7	7,1	1,7
Овцы на откорме (старше 12 мес.)	2,0	8,4	2,0
Цыплята-бройлеры (56 сут.)	0,1	0,5	0,04

Гуси домашние на мясо (взрослые)	0,5	2,5	0,20
Утки домашние на мясо (взрослые)	0,4	2,0	0,16
Куры-несушки	0,15	0,5	0,05

* – данные для расчета СДК(с) = ДУ/ mк при Dк = 1 в зимний стойловый период

Превышение СДК(с) в отдельных кормах (сено, сенаж, силос) не является причиной исключения их из рациона при условии, что суммарное содержание загрязняющего вещества в рационе соответствует ДУ за счет скармливания других, менее загрязненных кормов, например, зерновых концентратов и корне-клубнеплодов [1].

В пастбищный период для нормирования рационов рекомендуется использовать значения СДК(т) в сухом веществе пастбищной травы (таблица 15).

Таблица 15 – Значения СДК(т) Рb и Cd в сухом веществе пастбищной травы (расчетные данные) [1]

Животные (возраст убоя на мясо)	Потребление сухого в-ва травы (mк), кг/сут*)	СДК(т), мг/кг сухого вещества травы	
		Рb	Cd
Лактирующие коровы	12,0	1,3	0,6
Дойные козы и овцы	2,0	Нет данных	
Бычки на откорме (16-18 мес.)	7,2	2,8	0,6
КРС на откорме (старше 36 мес.)	11,2	2,8	0,6
Свиньи на откорме (6-8 мес.)	1,3	5,0	2,0
Свиньи на откорме (старше 24 мес.)	3,0	5,0	2,0
Ягнята на откорме (5-6 мес.)	1,0	2,3	0,5
Овцы и козы на откорме (8-10 мес.)	1,4	2,3	0,5
Овцы на откорме (старше 12 мес.)	1,6	2,3	0,5

* – доля травы в сухом веществе рациона: у жвачных 80%, у свиней – 40%

При условии, что вклад загрязняющих веществ в рацион вносят только пастбищная трава (без учета потребления концентратов) и почвенные частицы, формула расчета СДК(т) имеет вид (формула 3) [1]:

$$\text{СДК(т)} = \text{ДУ} \times (1 - D_{\text{п}}) / m_{\text{к}}, \quad (3)$$

где: ДУ – допустимый уровень содержания ТМ в суточном рационе, мг; D_п – доля вклада почвенных частиц в суммарное загрязнение рациона; m_к – масса суточного потребления травы животным, кг сухого вещества. При выпасе животных на пастбище величина D_п определяется по формуле 4:

$$D_{\text{п}} = (1 + M_{\text{к/п}} \times C_{\text{к/п}})^{-1}, \quad (4)$$

где: M_{к/п} – отношение массы потребляемой травы к массе потребляемой почвы; C_{к/п} – соотношение концентраций загрязняющего вещества в траве и почве. Величина D_п составляет: у КРС 0,45; овец 0,55; свиней 0,67 при соответствующих параметрах M_{к/п} 12; 8; 5 и C_{к/п} 1:10 [1].

При скармливании травы в кормушках, исключая потребление почвенных частиц, соответствующие значения СДК(т) увеличиваются для крупного рогатого скота в 1,8 раза, для мелкого рогатого скота в 2,2 раза, для свиней – в 3,0 раза [1].

1.5. Технологические приемы снижения накопления тяжелых металлов в сельскохозяйственном сырье и продукции

Сельскохозяйственное производство ведется с использованием стандартных технологий. В случае техногенного загрязнения возникает необходимость применения специальных реабилитационных технологий, то есть комплекса мероприятий по улучшению химико-токсикологической обстановки в сельском хозяйстве и получению продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим и ветеринарно-санитарным нормативам, базирующихся на изучении закономерностей поступления ТМ в растения в зависимости от металла, его химических свойств, форм выпадений, характеристик почвы и уровня загрязнения почвы.

Применение реабилитационных технологий направлено на увеличение плодородия почвы, рост урожайности культур, улучшение качества продукции растениеводства и возрастание продуктивности животных, с одной стороны, и снижение концентрации загрязняющих веществ, с другой. При использовании специальных реабилитационных технологий основной задачей является снижение концентрации ТМ в сельскохозяйственной продукции [1].

Так же в процессе регулирования использования техногенно загрязненных сельскохозяйственных территорий необходимо соблюдать следующие принципы [8]:

- 1) *Принцип эколого-экономической устойчивости землепользования.* Данный принцип позволяет установить надежный, долговременный баланс между экономическим и экологическим состоянием территории.
- 2) *Принцип приоритетности.* В качестве таких приоритетов могут выступать – предотвращение процессов загрязнения, ликвидация загрязнения, правовое использование загрязненных земель и т.д.
- 3) *Принцип системного-комплексного подхода.* Предполагает осуществление четкой последовательности выполнения регулирующих воздействий на техногенно загрязненных территориях, рассматривая их как комплексное загрязнение воздушной, водной, почвенной, растительной среды и включает в себя правовые, экономические, технологические, организационные и т.д управленческие воздействия.
- 4) *Принцип ответственности.* Ответственность за загрязнение должны нести не только собственники земельных территорий, но и федеральные и региональные власти.

- 5) *Принцип информационной доступности.* Все субъекты землепользования должны иметь равные возможности доступа к информации о состоянии техногенного загрязнения территорий.
- 6) *Принцип научной обоснованности.* Регулирование использования загрязненных территорий должно базироваться на методологии научного анализа процессов развития и использование природных ресурсов.
- 7) *Принцип экономической целесообразности.* Данный принцип означает, что осуществление затратных санационных и восстановительных мероприятий следует проводить в тех случаях, когда эти затраты могут быть окупаемы в установленный экономикой период и не ведут к экономическому краху хозяйственной деятельности предприятия.
- 8) *Принцип государственности.* Регулирование использования техногенно загрязненных территорий прежде всего является прерогативой государства.

Восстановление сельскохозяйственных земель, загрязненных ТМ, имеет большое экологическое и социальное значение. Оно включает в себя применение технологических приемов по закреплению и снижению подвижности ТМ в почве, ограничению их поступления в сельскохозяйственные культуры и получению продукции, соответствующей существующим санитарно-гигиеническим и ветеринарно-санитарным нормативам. Это крайне важно для поддержания благополучной социальной и экологической обстановки на техногенно загрязненных территориях. Решение этих задач является актуальным для аграрного производства.

1.5.1. Классификация реабилитационных технологий в сельском хозяйстве

В настоящее время существует два подхода к восстановлению загрязненных почв: 1) ремедиация (удаление поллютантов из почв); 2) иммобилизация поллютантов и детоксикация почв (основаны на стабилизации зоны загрязнения и подавлении активности, подвижности вредных веществ) [94].

Наиболее известны следующие методы очистки почв: физические (механические, гидродинамические, аэродинамические, термические, электрические, магнитные, электромагнитные), физико-химические (коагуляционные, ионообменные, сорбционные), химические (осаждения, окисления-восстановления, замещения, комплексообразования) и биологические (микробиодеградации, биопоглощения) [94].

С точки зрения способа и места применения методов ремедиации различают: 1) обработку извлеченных больших объемов загрязненной почвы на стационарных установках, расположенных за пределами восстанавливаемой территории; 2) обработку почвы *in situ*; 3) обработку небольших объемов извлеченной почвы вблизи загрязненного участка с

последующим возвращением очищенного материала на место прежнего залегания; 4) локализацию загрязняющих веществ в пределах участка посредством проведения физико-химической стабилизации [94].

В растениеводстве можно выделить следующие виды возможных реабилитационных технологий [1, 93, 95]:

- специальные приемы обработки почвы;
- предотвращение вторичного загрязнения растений путем сокращения междурядных обработок;
- проведение работ по влажной почве;
- использование широкозахватной техники;
- мелиоративные работы (осушение, перепашка, поверхностное и коренное улучшение кормовых угодий);
- известкование кислых почв;
- изменение соотношения элементов питания в минеральных удобрениях;
- использование природных сорбентов и различных видов органических удобрений;
- электрические методы деонтоминации и методы биовосстановления и микробиологической обработки загрязненных почв;
- инвентаризация угодий по уровням загрязнения ТМ и составление картосхем загрязнения;
- прогнозирование содержания загрязнителей в урожае;
- принятие решения об отчуждении земель с высоким уровнем загрязнения, где не гарантируется получение экологически безопасной продукции;
- изменение структуры посевных площадей;
- внедрение севооборотов с учетом загрязнения почв и различий в накоплении загрязнителей растениями;
- составление плана реабилитации загрязненных угодий;
- организация химико-токсикологического контроля;
- оптимизация структуры кормовых севооборотов;
- рациональное использование сенокосов и пастбищ;
- ограничительные мероприятия предусматривают выведение сельскохозяйственных угодий из хозяйственного оборота при невозможности их использования в виду высоких уровней загрязнения или нецелесообразности проведения на них агротехнических и агрохимических мероприятий [93, 95].

Так же стоит рассмотреть методы используемые на территориях, загрязненных ТМ [96-100]:

- гидromеталлургические методы (фильтрация, экстракция, промывка, отмучивание, обогащения, отверждение, геогидрологическая изоляция, электромелиорация);

- паровакуумная экстракция и продувка воздухом [101-102];

- гидродинамическое воздействие и реагентное растворение [156];

- электроремедиация - основаны на применении постоянного электрического тока к загрязненным водонасыщенным грунтам [101].

- биовосстановление почв основано на стимулировании микробиологической деградации органических соединений в почвах [103-104];

- фиторемедиация/фитоэкстракция выращивание в течение определенного периода времени на загрязненных почвах специально подобранных видов растений, способных извлекать из почвы тяжелые металлы корневой системой и накапливать их в надземной части, которая впоследствии пожинается и утилизируется [94];

- иммобилизация металлов, суть метода в переводе металлов в труднорастворимые (прочносвязанные) соединения и тем самым снижение вероятности распространения их в сопредельные среды – в грунтовые воды, в приземный слой воздуха, в растения, особенно в сельскохозяйственные [94].

Для иммобилизации химических элементов, присутствующих в почвах, используют различные добавки и сорбционные материалы, в том числе гипс, $Al_2(SO_4)_3$, их смеси, смеси портландцемента, летучей золы, доменного шлака, плавленого кварца и извести, известь, фосфаты, торф, другие органические мелиоранты и удобрения, глауконитовый песок, органические сорбенты, активность которых в связывании поллютантов превышает таковую естественного органического вещества почвы [105-108].

Во Франции для ограничения поступления в почвы токсичных соединений используют различные геотекстильные материалы и геомембраны [94, 109].

В Германии предложен способ капсулирования загрязненных территорий путем поверхностной цементации. Суть этого метода, прошедшего опытно-промышленную апробацию, сводится к нанесению на поверхность saniруемой территории 1–2-х слоев специального цемента толщиной 7,5–10 см, перемешиванию его с верхним слоем почвы (до 75 см) с последующим уплотнением смеси тяжелыми катками. В результате последующего схватывания цемента загрязненный слой капсулируется и становится практически недоступным для выщелачивания из него токсичных компонентов [94-110].

Анализ изученных работ показывает, что на данный момент времени не существует универсальных методов для эффективной и дешевой очистки загрязненных почв. Действие конкретных мероприятий зависит от масштабов, интенсивности и химической специфики

загрязнения, от физикохимических свойств загрязненных почв, условий расположения загрязненного участка, его размеров и т. д.

1.5.2. Технологические приемы снижения содержания тяжелых металлов в продукции растениеводства

Специальные приемы и технологии, обеспечивающие снижение накопления ТМ в продукции растениеводства, разрабатываются с учетом агрохимических характеристик почвы, производимой продукции и вида загрязнителя. Специальные технологии состоят из приемов, которые не используются при традиционном ведении сельского хозяйства: вспашка с оборотом пласта; глубокая вспашка; использование глинистых минералов для внесения на поверхность почвы в первый период после выпадений загрязнителей; применение нетрадиционных агромелиорантов (таблица 16).

Таблица 16 – Эффективность приемов, обеспечивающих снижение накопления тяжелых металлов в продукции растениеводства [1]

Технологический прием	Эффективность
Обработка почв (вспашка с оборотом пласта, глубокая вспашка)	Снижение накопления ТМ до 2,0 раза
Известкование (в дозе 1,5-2,0 Н _г)	Снижение накопления ТМ до 2,5 раз (кроме Cr, Mo, As, Se). Для ряда микроэлементов снижение подвижности в почве отрицательно сказывается на качестве продукции.
Применение органических удобрений	Снижение накопления ТМ до 2,0 раз. Не рекомендуется внесение свежего навоза, т.к. возможно увеличение накопления ТМ в растениях.
Минеральные удобрения	Снижение накопления ТМ до 2,5 раза
Применение природных сорбентов (цеолиты, глины и др.) и удобрений на их основе	Снижение накопления ТМ в продукции до 5 раз
Подбор видов и сортов культур с минимальными уровнями накопления	Снижение накопления в зависимости от культуры и ТМ в среднем до 10 раз
Использование различных частей растений с учетом накопления загрязнителей	Снижение накопления в продуктах питания
Использование биологически активных веществ при возделывании зерновых культур	Снижение накопления Cd в зеленой массе растений на 20%
Глубокое безотвальное рыхление (40–45 см)	Cd, Pb, Zn, Cu, Co до 3,0 раза
Чередование культур (севооборот)	Cd, Pb, Zn, Cu, Co до 2,0 раза

Часть реабилитационных мероприятий направлена на изменение распределения ТМ в почвенном профиле, вторая часть – на изменение кислотности почв и увеличение их сорбционной способности, снижение подвижности ТМ [111].

Основными принципами ведения лугопастбищного хозяйства при техногенном загрязнении, обеспечивающими получение экологически безопасной продукции животноводства (молоко, мясо), являются: дифференцированное использование кормовых угодий в зависимости от уровня загрязнения ТМ, свойств почв, ландшафтной характеристики; инвентаризация пастбищ и сенокосов, повышение их продуктивности; внедрение специализированных технологий улучшения кормовых угодий [112].

Среди традиционных приемов в кормопроизводстве существует два основных - *поверхностное* и *коренное* улучшение сенокосов и пастбищ. Особенностью проведения коренного и поверхностного улучшения на территориях, загрязненных ТМ, является обязательное разрушение дернины (дискование не менее чем в 3-4 следа), вспашка с оборотом пласта, внесение повышенных доз фосфорно-калийных удобрений и извести, применение природных сорбентов, подбор специальных травосмесей. Перечисленные выше приемы эффективны для снижения перехода тяжелых металлов в травостой сенокосов и пастбищ. Однако в настоящее время нет достаточной информации об эффективности различных приемов по изменению подвижности химических элементов в звене почва-травостой.

Анализ литературных данных показал, что в настоящее время в Российской Федерации существует проблема загрязнения сельскохозяйственных угодий ТМ. Наиболее высокие уровни загрязнения характерны для территорий, прилегающих к крупным промышленным агломерациям с приоритетом металлургического производства, химической промышленности и машиностроения.

Техногенное загрязнение агроландшафтов обуславливает необходимость оценки эффективности и оптимизации приемов и технологий ведения растениеводства и кормопроизводства на территориях, загрязненных ТМ, снижающих негативное влияние поллютантов и повышающих устойчивость агроценозов к их воздействию. Для ведения растениеводства должна быть разработана система земледелия, включающая технологические приемы, которые, с одной стороны, обеспечивают сохранение плодородия почв и повышение продуктивности агроценозов как интегрального показателя их устойчивости, а с другой, - получение продукции, отвечающей санитарно-гигиеническим нормативам и требованиям к биологическому и технологическому качеству урожая. Это определяет необходимость проведения в сельскохозяйственных предприятиях, расположенных на техногенно загрязненных территориях, комплекса экономически обоснованных мероприятий, обеспечивающих производство экологически безопасной продукции.

Так же можно отметить, что к настоящему моменту накоплен достаточно большой опыт по реабилитации сельскохозяйственных земель. Поэтому, исследование направлено на оценку эффективности, оптимизацию применения удобрений и обобщение накопленных данных по

эффективности реабилитационных технологий, а также разработку новых подходов, принципов и методов эколого-экономического обоснования технологий ведения сельскохозяйственного производства на территориях, загрязненных ТМ.

1.6. Актуальные аспекты оценки эффективности ведения сельского хозяйства

Современная сельскохозяйственная деятельность человека осуществляется в условиях непрерывной техногенной нагрузки. Техногенез стал естественным изменением природной среды.

По своей сути техногенное воздействие, как антропогенная деятельность человека с широкомасштабным использованием технических (искусственно созданных) средств, способствующих интенсификации сельскохозяйственного производства, является ведущим фактором современного природопользования [8].

В этой связи любое современное землеустройство можно рассматривать, как землеустройство в условиях техногенеза.

Цель землеустройства в условиях техногенного загрязнения заключается в восстановлении естественных природных функций территории, обеспечивающих процессы саморегуляции и саморазвития природных экосистем и комплексов в процессе реализации экономических, социальных и иных интересов общества, связанных с использованием природной среды.

Так же можно выделить основные положения концепции землеустройства [8]:

- 1) любые землеустроительные действия следует начинать с оценки экологического состояния объекта землеустройства;
- 2) основой для проведения землеустроительных работ должны быть количественные показатели качественного изменения состояния природных и хозяйственных комплексов, базирующиеся на критериях экологического нормирования состояния природной среды и ее отдельных компонентов;
- 3) основным объектом оценки экологического состояния природной среды должен являться почвенный покров;
- 4) в процессе проведения землеустроительных работ необходимо осуществлять классификацию уровней техногенного воздействия;
- 5) в процессе проведения землеустройства должны быть разработаны правовые гарантии экологически направленного землепользования;
- 6) в процессе создания правовых гарантий экологизации должны быть разработаны и предусмотрены экономические стимулы сохранения экологической стабильности территорий;

7) выявление источников техногенного воздействия на природную среду с учетом интенсивности, специфики и зон влияния;

8) постоянный мониторинг почвенной среды на уровне пользователя земель.

Специфика проведения землеустройства в условиях техногенного загрязнения земель предполагает разработку и совершенствование применения показателей эффективности землеустройства, имеющих эколого-экономическую (эколого-хозяйственную) направленность.

Эффективность – сложная экономическая категория, отражающая взаимодействие природных, организационных, экономических и социальных условий функционирования субъекта хозяйствования [113-116].

Общую эффективность функционирования определяет степень достижения цели. Целью в нашем случае является удовлетворение растущих потребностей общества на основе увеличения эффективности функционирования аграрного объединения за счет повышения качества выпускаемой продукции и роста урожайности при снижении затрат на их производство [113-116].

На уровне сельскохозяйственного предприятия система целей отражает народнохозяйственные, коллективные и индивидуальные экономические интересы. Народнохозяйственные интересы связаны с производством продукции, оказанием определенных услуг, коллективные интересы – с обеспечением условий воспроизводства организации, индивидуальные интересы – с возмещением затрат труда. Сущность эффективности сельскохозяйственного производства может быть также выражена через виды и критерии [116].

Критерий – это признак, на основании которого производится оценка эффективности производства сельскохозяйственной продукции. Признак – отличительная характеристика объекта [113].

В сельскохозяйственном производстве критерием экономической эффективности является увеличение валового дохода при минимальных затратах живого и овеществленного труда, что возможно за счет рационального использования всех элементов производства – земельных, материально-технических, трудовых и финансовых ресурсов. Показатели эффективности использования ресурсов проявляются в показателях результативности производства и могут быть представлены как в натуральном, так и в стоимостном выражении [113-116].

Различают нормативную и фактическую технологическую эффективность.

Нормативная технологическая эффективность находит отражение в технологической карте производства определенной сельскохозяйственной культуры. Технологическая карта, разработанная сельским товаропроизводителем для продукции растениеводства, характеризует нормативный уровень для конкретных условий производства растениеводческой

сельскохозяйственной продукции. То же имеет место и в части продукции животноводства [113-116].

Показатели **технологической эффективности** используются для оценки эффективности элементов систем земледелия и животноводства. Уровень технологической эффективности определяется путем сравнения фактических данных с соответствующими нормативными показателями, в качестве которых используется уровень производства продукции, соответствующий рациональному уровню интенсивности или средних погодных условий [113-116].

Экономическая эффективность отражает степень реализации экономических интересов и измеряется системой стоимостных показателей, характеризующих эффективность производства и реализации продукции (себестоимость, валовая продукция в текущих ценах, валовой доход, прибыль, рентабельность, показатели финансового состояния товаропроизводителя, платежеспособность). Критерием экономической эффективности является достижение показателей финансовой деятельности, характеризующих возможность осуществлять расширенное воспроизводство [113-116].

Социальная эффективность характеризует социальное состояние, степень достижения нормативного уровня развития сельской социально-территориальной общности, которая представляет собой совокупность сельского населения, обладающего единством отношения к определенной хозяйственно освоенной территории, и измеряется показателями уровня жизни населения. Критерием социальной эффективности является степень достижения нормативного уровня развития сельской социально-территориальной общности, т.е. демографические, экономические и социальные показатели уровня жизни населения [113-116].

Экологическая эффективность характеризуется сохранением природной среды, уровнем использования природных ресурсов, повышением экологичности и снижением природоемкости производимой продукции, улучшением качества продукции, среды обитания населения. Критерием экологической эффективности является предотвращение ухудшения окружающей среды, ее улучшение, повышение экологичности производства, качества продукции. Особо важное значение имеет улучшение качества продуктивных земель (замедление процессов плоскостной, линейной и ветровой эрозии почв, уменьшение их агроистощения, снижение процента засоленных земель и загрязненных тяжелыми металлами, радионуклидами, пестицидами и др.) [113-116].

Народнохозяйственная эффективность сельского хозяйства характеризуется следующими показателями [113-116]:

– валовой внутренний продукт сельского хозяйства в расчете на жителя страны, работника сельского хозяйства, на единицу сельскохозяйственных угодий;

- валовая продукция сельского хозяйства в сопоставимых ценах в расчете на жителя страны и единицу сельскохозяйственных угодий; производство основных продуктов сельского хозяйства на жителя страны;

- коэффициент продовольственной независимости страны; число жителей страны, которых обеспечивает продукцией один работник сельского хозяйства;

- показатели сохранения и улучшения природной среды.

Региональная эффективность сельского хозяйства характеризуется следующими показателями [113-115]:

- валовой региональный продукт сельского хозяйства в расчете на жителя региона, работника сельского хозяйства, на сельскохозяйственные угодия;

- валовая продукция сельского хозяйства в сопоставимых ценах в расчете на жителя региона, единицу сельскохозяйственных угодий;

- уровень производства основных продуктов питания к нормативному уровню их потребления;

- показатели сохранения и улучшения природной среды, качества продукции.

Коммерческая эффективность сельского хозяйства характеризуется следующими показателями [113-115]:

- финансовое положение товаропроизводителя (финансовая устойчивость, платежеспособность, рентабельность);

- уровень капитальных вложений в развитие социально-культурной сферы села; – коэффициент жизнестойкости сельского населения;

- ввод в эксплуатацию орошаемых и осушенных земель.

Уровень рентабельности производственной деятельности, исчисленный в целом по предприятию, зависит от трёх основных факторов – изменения структуры реализованной продукции, её себестоимости и средних цен реализации. Показатели рентабельности более полно, чем прибыль, характеризуют окончательные результаты хозяйствования, потому что их величина показывает соотношение эффекта с наличными или потреблёнными ресурсами. Их используют для оценки деятельности предприятия и как инструмент в инвестиционной политике и ценообразовании [117].

Перечисленные критерии необходимы для разработки мероприятий по правильному землеустройству, то есть для изменения и улучшения природных свойств земли и для понимания экологического, экономического, правового, социального и технического характера данного вопроса. Данные критерии так же способствуют пониманию того, что в настоящее время необходимо переходить от принципа безудержного преобразования природы и

неограниченной ее эксплуатации к экономии природных ресурсов и весьма осторожному изменению природной среды жизни [8].

Таким образом, для всестороннего изучения эффективности сельскохозяйственного производства необходима чёткая система показателей, отражающих различные стороны производственной деятельности [117].

ГЛАВА 2. МЕТОДОЛОГИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

2.1. Методы проведения полевых и лабораторных экспериментов при изучении минеральных удобрений, как источника поступления ТМ в почву и растительность

Для тяжелых металлов почвы являются хорошей депонируемой средой, в которой они прочно сорбируются и взаимодействуют с почвенным гумусом, образуя труднорастворимые соединения, за счет чего идет их накопление в почве. Источником поступления могут быть как промышленные предприятия и автотранспорт, так и удобрения используемые для возделывания сельскохозяйственных культур.

Для исследования состава минеральных удобрений проведены лабораторные испытания 119 проб различных видов и форм удобрений, наиболее широко применяемых на сельскохозяйственных угодьях.

Для оценки влияния различных агрохимических мероприятий на накопление ТМ в урожае зерновых культур в условиях многолетнего полевого исследования в Тульской области заложен опыт на типичном для данной зоны глубоковыщелоченном среднеоккультуренном среднесуглинистом черноземе. Длительность опыта 20 лет. Севооборот зерновой четырехпольный (яровая пшеница (*Triticum vulgare*), овес (*Avena sativa*), озимая пшеница (*Triticum aestivum*), однолетние травы (овес+вика посевная), последовательно развернут на всех полях [33].

Влияние различных систем минеральных удобрений на накопление ТМ в почве и растениях изучалось в полевом эксперименте в виде 5-ти блоков: 1) контроль (без удобрений); 2) варианты доз азотных удобрений от 0 до 150 кг/га при постоянном фоне $P_{60}K_{60}$; 3) дозы фосфорных удобрений от 0 до 120 кг/га при постоянном фоне $N_{90}K_{60}$; 4) дозы калийных удобрений от 0 до 150 кг/га при постоянном фоне $N_{90}P_{60}$; 5) применение минеральных удобрений и известки $N_{90}P_{60}K_{60} + CaCO_3$ [34] (таблица 17).

Таблица 17 – Схема проведения многолетнего полевого эксперимента на выщелоченных черноземах Тульской области

№ п.п.	В-1	В-2	В-3	В-4	В-5
1	Без удобрений	$P_{60}K_{60}$	$N_{90}K_{60}$	$N_{90}P_{60}$	$N_{90}P_{60}K_{60} + CaCO_3$
2		$N_{60}P_{60}K_{60}$	$N_{90}P_{30}K_{60}$	$N_{90}P_{60}K_{30}$	
3		$N_{90}P_{60}K_{60}$	$N_{90}P_{60}K_{60}$	$N_{90}P_{60}K_{60}$	
4		$N_{120}P_{60}K_{60}$	$N_{90}P_{90}K_{60}$	$N_{90}P_{60}K_{90}$	
5		$N_{150}P_{60}K_{60}$	$N_{90}P_{120}K_{60}$	$N_{90}P_{60}K_{150}$	

Агрохимические свойства почвы перед закладкой эксперимента характеризовались следующими показателями: гумус – 6.5%, P_2O_5 (по Чирикову) - 131 мг/кг, K_2O - (по Масловой) - 153 мг/кг, рН сол. – 5.3, Нг – 6.9 и S - 32 мг-экв/100 г почвы [34].

Фосфорные и калийные удобрения вносились осенью под вспашку, а азотные - перед посевом яровых и в весеннюю подкормку озимых культур в виде двойного суперфосфата,

хлористого калия и карбамида (Рсд, Кх, Наа). Известкование проводили в отдельных вариантах в начале каждой ротации из расчета 1 Нг. За период проведения эксперимента на 1 га посевной площади было внесено от 0 до 2900 кг NPK [34].

Отбор проб почв и растений на определение ТМ осуществлялся согласно общепринятым методикам [49-50]. Количественный анализ содержания ТМ в почвенных и растительных образцах, проводили на двухканальном атомно-эмиссионном спектрометре “Hitachi-308” в пламенном варианте.

Общее количество вариантов 17, повторность опыта 4-х кратная. Размер делянок составляет 240 м² [34].

2.2. Методы проведения мониторинговых исследований компонентов агроэкосистем зоны воздействия промышленных предприятий металлургического производства

Для выявления источников поступления ТМ и степени их воздействия на компоненты окружающей среды в результате работы предприятий металлургии была создана сеть агроэкологического мониторинга. На разном удалении и направлении от площадки размещения источника загрязнения. С шагом 0,3-5 км отбирались пробы снежного покрова, почвы, растительности. Были охвачены основные функциональные зоны города и окрестности: промышленная, парковая, сельскохозяйственная, залежь [118-119].

2.2.1. Исследование снежного покрова в зоне влияния металлургического производства

В 2019 году проведены работы по обследованию снежного покрова, располагающихся на разном удалении и направлении от района размещения ООО «НЛМК-Калуга» и «НЛМК-Липецк».

В мониторинге загрязнения атмосферного воздуха использовались, так называемые, природные планшеты, к которым относится снежный покров в качестве депонирующей среды техногенных загрязнений [118, 120-122].

Пробоотбор проводился по нерегулярной сети отбора с применением стандартной методики при температуре (0...+1) °С; снежный покров сохранялся целостным, таяние снега только начиналось [51].

Согласно архиву погоды сайта gr5.ru снежный покров начал формироваться с 30 ноября 2018 года на территории Липецкой области и с 26 ноября на территории Калужской области [123]. Отбор проб был проведен 4-12 марта 2019 года при температуре 0...+1 °С. Общий период времени от начала снегостава до дня отбора составил примерно 102 суток. Пробы отобраны с 11 площадок в зоне воздействия ПАО «НЛМК» и 10 проб в зоне воздействия ООО «НЛМК-

Калуга». Для отбора «фоновых» проб выбраны участки, расположенные на расстоянии 23 и 33 км от основного источника загрязнения, соответственно [120-122] (рисунок 7).

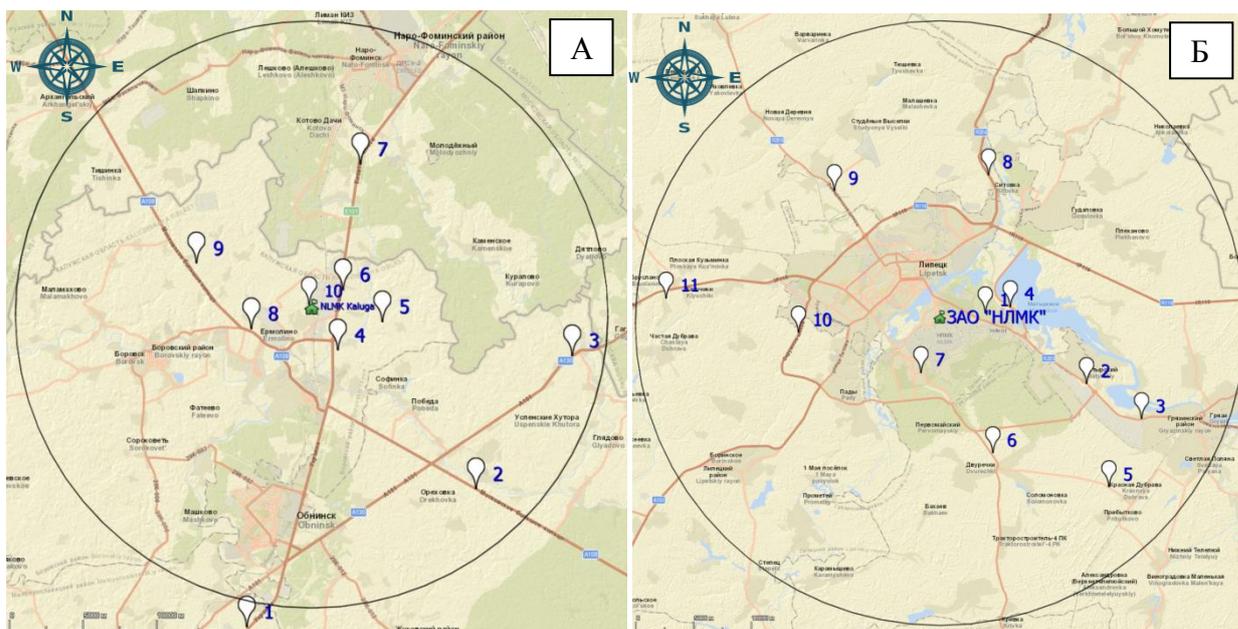


Рисунок 7 – Схема отбора проб снежного покрова в 30 км зоне А – ООО «НЛМК-Калуга» и Б – ЗАО «НЛМК»

При отборе проб снежного покрова руководствовались следующими нормативными документами:

- 1) ГОСТ Р 70282-2022 Охрана окружающей среды. Поверхностные и подземные воды. Общие требования к отбору проб льда и атмосферных осадков [124];
- 2) Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве [51];
- 3) РД 52.04.186-89 «Руководство по контролю загрязнения атмосферы» [125].

Границы возможной зоны воздействия определялись в результате анализа объемов и характера распространения выбросов и сбросов предприятия вдоль векторов розы ветров (таблица 18). При этом пространственное распределение продуктов выбросов в окружающей среде происходит по экспоненциальному закону. Чем выше труба, тем воздействие от производства распространяется на большее расстояние [126].

Таблица 18 – Характеристика мест отбора проб снежного покрова в зонах воздействия ООО «НЛМК-Калуга» и «НЛМК-Липецк» [118-119]

№ пробы	Расстояние, км	Направление	Координаты
ООО «НЛМК-Калуга» (с. Ворсино)			
1	22,8	Ю-З	N55°02'15,94" E36°35'15,39"
2	15,8	Ю-В	N55°07'21,10" E36°49'53,16"
3	16,5	В	N55°12'15,32"

			E36°56'02,20"
4	3	Ю	N55°12'27,29" E36°41'04,95"
5	3,5	В	N55°13'30,30" E36°43'53,24"
6	1,2	С	N55°14'40,44" E36°41'23,46"
7	9,8	С-В	N55°19'16,87" E36°42'29,40"
8	5,8	Ю-З	N55°13'14,18" E36°35'31,91"
9	9,8	С-З	N55°15'39,29" E36°32'01,17"
10	1,6	З	N55°14'08,41" E36°39'12,96"
ПАО «НЛМК» (г. Липецк)			
1	4	С-В	N52°34'37,56" E39°40'50,52"
2	13,5	В	N52°31'19,70" E39°48'29,80"
3	19	В	N52°29'42,00" E39°52'40,00"
4	5,7	С-В	N52°34'54,00" E39°42'44,00"
5	20	Ю-В	N52°26'32,00" E39°50'13,00"
6	12	Ю	N52°28'07,00" E39°41'25,00"
7	4,5	Ю-З	N52°31'51,00" E39°36'00,00"
8	13,5	С-В	N52°41'00,10" E39°41'06,90"
9	14,5	С-З	N52°40'16,00" E39°29'26,00"
10	12	З	N52°33'43,00" E39°26'44,00"
11	33,5	С-З	N52°35'18,00" E39°16'42,00"

Отбор проб снега проводили методом шурфа в полиэтиленовые мешки емкостью 30 л на всю мощность снежного покрова, за исключение 5 см слоя над почвой, со стороной 50x50 см и глубины шурфа от 35 до 45 см. Вес пробы - 15-25 кг, что позволяет получить при оттаивании 8-20 л воды. Для прогнозирования загрязнения почвы и сточных вод были созданы условия медленного таяния без подогрева проб при комнатной температуре [118]. Твердая и жидкая фракции разделялись фильтрованием через беззольные фильтры с диаметром пор 2 мкм. Анализ твердого осадка, который состоит из атмосферной пыли, осаждаемой на поверхность снежного покрова рассчитывался по разнице в массе фильтра до и после фильтрования характеризует массу пыли в пробе [118-119, 121].

Определение элементов проводили методом атомно-эмиссионной спектроскопии в индуктивно-связанной плазме (ICP-OES). Для оценки содержания ТМ (Cd, Pb, Cu, Zn, Co, Ni, Cr, Mn, Fe) [119] в растворимой фракции и твердом осадке снега использовали коэффициенты техногенной концентрации (K_c) по сравнению с фоном (формула 2.1) [51]:

$$K_c = C_i / C_{k1}, \quad (5)$$

где K_c – коэффициент концентрации; C_i – концентрация элемента в твердом осадке снега, отобранного в черте города; C_{k1} – концентрация элемента в твердом осадке снега фоновой территории ($K1$).

Для определения степени полиэлементного загрязнения снежного покрова использовали суммарный показатель загрязнения (формула 6) [26]:

$$Z_c = \sum K_{ci} - (n-1), \quad (6)$$

где Z_c – показатель суммарного загрязнения; K_{ci} – коэффициенты концентрации элементов, n – число определяемых ТМ.

На основе экспериментальных данных проводили расчет величины пылевой нагрузки (P_n , мг/м² сут): $P_n = P_o / (S \cdot t)$, P_o – вес твердого снегового осадка, мг; S – площадь снегового шурфа, м²; t – количество суток от начала снегостава до дня отбора проб, сут. Проводили расчет среднесуточного притока ТМ с пылевыми взвешенными частицами в атмосферном воздухе на снежный покров $P_{общ} = C \cdot P_n$, мг/(км² сут), где C – содержание элемента в твердом осадке снега (мг/кг); P_n – пылевая нагрузка кг/(км² сут).

Для сопоставления полученных данных с характеристикой пылевых выпадений на фоновой территории рассчитывали коэффициент относительной пылевой нагрузки элемента (формула 7) [51]:

$$K_p = P_{общ} / P_f, \quad (7)$$

при $P_f = C_f \cdot P_{пф}$, где

P_f – нагрузка элемента в составе твердых выпадений на фоновой территории; C_f – фоновое содержание исследуемого элемента; $P_{пф}$ – пылевая фоновая нагрузка.

Методические рекомендации по оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов ТМ по их содержанию в снежном покрове и почве устанавливают различные уровни загрязнения почв и снежного покрова металлами и пылью (таблица. 19).

Таблица 19 – Нормативные уровни загрязнения почв и снежного покрова металлами и пылью [51]

Уровень	Суммарный показатель загрязнения почв	Суммарный показатель загрязнения снежного покрова (Z_c)	Выпадение пыли кг/км ² сутки, P_n	Выпадение металлов, мг/км ² сут
Низкий	8-16	32-64	100-250	1000
Средний	16-32	64-128	250-450	1000-5000

Высокий	32-128	128-256	450-850	5000-10000
Очень высокий	>128	>256	>850	>10000

Для санитарно-гигиенической оценки применялись разработанные в России предельно допустимые максимально-разовые и среднесуточные концентрации (ПДК_{мр} и ПДК_{сс}) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест [82].

2.2.2. Мониторинговые исследования почв и растительности агропромышленных предприятий в 30 км зоне воздействия компаний «Новолипецкого металлургического комбината»

На разных этапах эксплуатации промышленных предприятий ООО «НЛМК-Калуга» и ПАО «НЛМК-Липецк» (2010-2020 год) была создана сеть агроэкологического мониторинга почвенно-растительного покрова.

Обследовались сельскохозяйственные угодья, располагающиеся на разном удалении и направлении от промышленных площадок ООО «НЛМК-Калуга» г. Ворсино и ПАО «НЛМК» г. Липецк (рисунок 9).

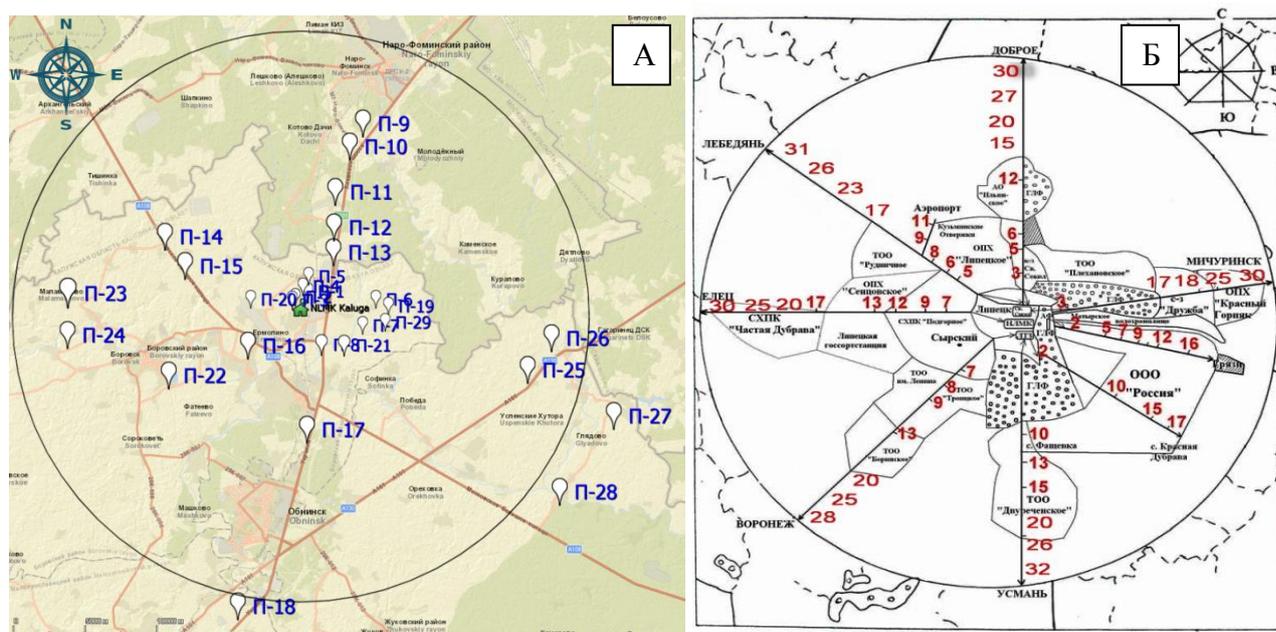


Рисунок 9 – Карта-схема расположения постоянных пробных площадок в 30 км зоне воздействия А – ООО «НЛМК-Калуга» и Б – ПАО «НЛМК»

Определение уровней загрязнения почв ТМ в зоне воздействия объекта проводилось на основании Методических рекомендаций по выявлению деградированных и загрязненных земель [52]. В соответствии с их требованиями контроль за загрязнением почв ТМ ведется по 4-8 румбам. Отбор проб почв и растений вокруг Калужского научно-производственного электрометаллургического завода проводился по 7 румбам, а в районе Новолипецкого металлургического комбината г. Липецк по 8. В зависимости от характера распределения

сельскохозяйственных угодий по маршруту обследования, отбор проб почв и растений по всем выбранным направлениям проводился с шагом 0,3-5,0 км. Максимальное расстояние от ООО «НЛМК-Калуга» составляло 25 км, минимальное – 0,6 км. Для ПАО «НЛМК» – 33 км.

Зона воздействия промышленных объектов определялась по распределению тяжелых металлов в почве при помощи методических указаний «Полевое обследование и картографирование уровня загрязнения почвенного покрова техногенными выбросами через атмосферу» [42, 118].

Отбор точечных проб на каждом поле проводился почвенным буром по 2-м диагоналям. Смешанный образец составлялся не менее чем из 10-15 индивидуальных образцов, равномерно размещенных на участке. Индивидуальные пробы объединялись, тщательно перемешивались, затем брался смешанный образец весом не менее 0,5 кг. Глубина отбора индивидуальных и смешанных проб на пахотных угодьях составляла 0-20 см, а на сенокосах и пастбищах отбирался слой 0-10 см [127].

Отбор проб растений проводился в период уборки урожая одновременно с отбором проб почвы. Отбор проб травы и зеленой массы сельскохозяйственных культур производился в соответствии с [128]. Одна объединенная проба составлялась из не менее, чем 5 точечных проб, отобранных по методу «конверта». Учетная площадь (в зависимости от продуктивности посевов) составляла 1 или 2 м². Растения срезались на высоте 3-5 см от поверхности почвы. Пробы разделялись на основную и побочную продукции. Объединенная проба составляла массу 1,0-1,5 кг натуральной влажности [129].

Оценка качества посевов проводилась параллельно с отбором проб растительности. Фиксировали наличие признаков фитотоксического угнетения или поражения сельскохозяйственных культур.

Отбор проб кормов производился в местах их произрастания, производства, складирования и скармливания животным.

Для определения ТМ в пробах использовался метод атомно-эмиссионной спектроскопии в индуктивно-связанной плазме (ICP-OES, Hitachi-308). Для определения подвижных форм ТМ в почве используется ацетатно-аммонийный буферный раствор с рН 4,8. Разложение проб выполнялось при помощи микроволновой системы пробоподготовки МС-10.

Обработка полученной информации и дисперсионный однофакторный анализ проводились с использованием методов математической статистики и компьютерных программных средств (STATISTICA 10.0, Microsoft Excel).

2.3. Структура и характеристика базы данных по эффективности применения агроулучшителей на территориях, загрязненных тяжелыми металлами

База данных – это упорядоченная система таблиц с элементами управления. Каждая таблица (запись) содержит сведения о некотором объекте (параметре), а вертикальные столбцы (поля) – это определенные свойства, характеристики, параметры объектов. Элементы управления позволяют выбирать, группировать, сортировать записи и поля, проводить обработку информации и создавать удобные экранные и печатные формы [10].

Разработанная база данных предназначена для ввода, хранения, систематизации, поиска и анализа информации по эффективности реабилитационных мероприятий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами [35, 130]. Основными показателями, описывающими эффективность реабилитационных мероприятий, является кратность снижения содержания тяжелых металлов в растениях и увеличение урожайности культур [131].

База данных создана с использованием системы управления базами данных (СУБД) MS Access 2007. Объектами БД являются таблицы (для хранения информации), запросы, формы и макросы. СУБД MS Access обеспечивает все возможности обработки и управления данными при работе с большими объемами информации. СУБД Access входит в состав пакета Microsoft Office, который объединяет различные приложения, серверы и службы. Эта программа может быть использована и отдельно от других приложений MS Office [132]. Ввод данных осуществляется посредством форм и таблиц. Рабочий язык базы данных – русский [10].

Для создания БД были проанализированы научные журналы, монографии, научные труды, доклады конференций, кандидатские и докторские диссертации, опубликованные с 1986 г. по 2020 г. [28].

Концептуальная схема базы данных по эффективности реабилитационных мероприятий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами, представлена на рисунке 10 [133].



Рисунок 10 – Концептуальная схема БД по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами

В базе данных созданы несколько взаимосвязанных модулей, объединенных по ключевым полям [29]:

- Место проведения исследования (регион исследования, организация);
- Параметры эксперимента (отрасль сельскохозяйственного производства, тип и вид продукции, сорт сельскохозяйственной культуры, год исследования, тяжелый металл и тип опыта);
- Физико-химические характеристики почв (тип и механический состав почвы, содержание гумуса, %; рН; гидролитическая кислотность Нг, мг-экв./100 г; подвижный фосфор и калий, мг/100 г; обменный кальций, мг-экв./100 г; фон, на котором применялась технология (естественный, сидерат и т.д.));
- Удобрения (вид удобрения и наименование – азотные, фосфорные, калийные, известь, органическое удобрение, природные глины и минералы, препараты; доза, кг/га и объем применения, т/га);

- Результаты внедрения реабилитационных технологий (кратность снижения содержания ТМ в растении, раз; увеличение продуктивности (урожайности), раз; коэффициент накопления ТМ, (мг/кг)/(мг/кг));
- Литературный источник (тип источника – журнал, диссертация, материалы конференции, монография; название публикации; год публикации);
- Примечания.

Разработанная в Microsoft Access структура базы данных позволяет проводить накопление, сортировку и обработку собранной информации.

2.4. Методология оценки эффективности реабилитационных технологий при ведении сельского хозяйства на территориях, загрязненных тяжелыми металлами

Научные подходы к оценке эффективности реабилитационных технологий при производстве сельскохозяйственной продукции на территориях, загрязненных ТМ, активно разрабатываются и развиваются в настоящее время. Вместе с развитием методологических подходов совершенствуются критерии и способы определения наиболее рациональных вариантов внедрения реабилитационных мероприятий.

Обоснование различных вариантов внедрения стандартных и реабилитационных технологий в сельскохозяйственном производстве состоит из нескольких этапов, каждый из которых включает в себя анализ эффективности комбинаций альтернативных технологий на основе определенных критериев, отличающихся на разных стадиях оценки [134-135]. Технологии, имеющие одинаковый эффект снижения содержания ТМ в продукции, могут отличаться по экономическим показателям затрат и выгоды. Отбор комплекса наиболее оптимальных технологий в этом случае будет обусловлен показателями дополнительных критериев и данных.

Таким образом, для оценки эффективности внедрения реабилитационных технологий, при производстве сельскохозяйственной продукции на территориях, загрязненных ТМ, существуют несколько групп критериев. В настоящей работе, в качестве основных критериев, использовались следующие:

- Экологические - кратность снижения содержания ТМ в отдельных видах сельскохозяйственных культур или степень техногенного воздействия в целом на экосистему по сравнению с фоновой. Определяется с помощью комплекса показателей – почвенный, ботанический и др. (признаки, на основании которых производится оценка, определение или классификация экологических систем, процессов и явлений);

– Санитарно-гигиенические - нормативы содержания ТМ в производимой продукции сельского хозяйства [136];

– Экономические - объем и стоимость ресурсов, необходимых для внедрения реабилитационных технологий; прибыль, полученная при реализации сельскохозяйственной продукции, после внедрения реабилитационных технологий; увеличение урожайности (производительности), рентабельность производства при внедрении технологий;

– Эколого-экономический – стоимостной показатель прироста прибыли в результате реализации реабилитационных технологий. Основой для расчета могут выступать: снижение уровня загрязнения ТМ почв, повышение почвенного плодородия, увеличение выхода нормативно - чистой продукции и т.д.

Концептуальная схема методологического подхода, включающая стадии формирования рекомендаций по внедрению реабилитационных технологий в сельскохозяйственное производство на территориях, загрязненных ТМ, представлена на рисунке 11.



Рисунок 11 – Концептуальная схема методологического подхода, включающая стадии формирования рекомендаций по внедрению реабилитационных мероприятий в сельскохозяйственное производство, на территориях, загрязненных ТМ
Экологические критерии эффективности реабилитационных мероприятий.

Данный критерий представлен отношением уровней загрязнения ТМ сельскохозяйственной продукции до и после внедрения реабилитационных мероприятий. В настоящем исследовании, определение оптимальных доз внесения минеральных и

органических удобрений в почвы с различными физико-химическими характеристиками проводилось на основе экологического критерия [1].

Санитарно-гигиенический критерий эффективности реабилитационных мероприятий.

Санитарно-гигиенический (нормативный) критерий – отражает количество продукции, соответствующей нормативам, полученной сельскохозяйственным производителем, после внедрения тех или иных мероприятий. Реабилитационные мероприятия считаются эффективными, если они обеспечивают производство продукции, удовлетворяющей санитарно-гигиеническим нормативам. Нормативный критерий не является величиной постоянной, поэтому выводы относительно экологической эффективности мероприятий вполне справедливы только на период действия соответствующих нормативов. В настоящее время допустимые уровни содержания ТМ в пищевой продукции и продовольственном сырье регламентируются СанПиН 2.3.2.1078-01 [136-138].

Экономические критерии эффективности реабилитационных мероприятий.

Оценка влияния стандартных и реабилитационных мероприятий на экономические показатели деятельности сельскохозяйственного предприятия заключалась в определении затрат на внедрение данных мероприятий, а также величины предотвращенного ущерба и дополнительных доходов сельскохозяйственных производителей, за счет реализации полученной в результате внедрения специальных мероприятий продукции, удовлетворяющей санитарно-гигиеническим нормативам [105-106].

Основным экономическим результатом применения реабилитационных мероприятий производства экологически безопасной сельскохозяйственной продукции является предотвращенный ущерб – вред, не допущенный в сфере сельскохозяйственного производства за счет создания безопасных условий его функционирования, обеспечивающих производство экологически безопасной продукции [135]. Важнейшим фактором формирования производственного ущерба является изменение категории ценности продукции вследствие несоответствия установленным санитарно-гигиеническим нормативам или нецелевое использование произведенной продукции (внутрихозяйственное использование), не соответствующей установленным нормативам, или ее реализация по заниженным ценам [111, 134, 139].

Величины предотвращенного производственного ущерба рассчитывается на основе определения доли продукции, отвечающей нормативным требованиям до и после применения соответствующих мероприятий. Ущерб от нецелевого использования сельскохозяйственной продукции, предотвращенный в результате внедрения реабилитационных мероприятий, является составной частью дохода, определяющего их экономическую эффективность.

Определение экономической эффективности технологических приемов ведения сельскохозяйственного производства на территориях, загрязненных тяжелыми металлами, производилось на основе расчета следующих показателей [134-135]:

- прибыль от реализации нормативно чистой продукции;
- прирост прибыли в сравнении с заменяемой стандартной технологией ведения сельскохозяйственного производства;
- уровень рентабельности производства продукции, удовлетворяющей санитарно-гигиеническим нормативам.

Расчет первого показателя – прибыли от реализации (Пн), осуществляется по разности между выручкой от реализации сельскохозяйственной продукции, соответствующей нормативам, и затратами на ее производство, или по разности между ценой реализации и себестоимости производства экологически безопасной продукции (формула 8) [30]:

$$Пн = (Вн - Зн) \times O, \quad (8)$$

где Пн - прибыль от реализации продукции по новой технологии, руб.; Вн – выручка от реализации продукции при применении реабилитационных технологий, руб.; Зн - затраты на производство продукции по новой технологии, руб.; O – объем внедрения реабилитационных технологий (га, голову).

Выручка от реализации продукции рассчитывается как произведение продукции, полученной с гектара земельной площади, на ее реализационную цену. Затраты на производство продукции также определяются на единицу объема работы (на 1 га). Кроме того, необходимо учитывать расходы, связанные с технологическими операциями сельскохозяйственного производства, например уборкой дополнительного объема продукции [30, 134].

Расчет фактической прибыли от реализации нормативно чистой продукции (Пн), а также чистой прибыли (ЧПн), при определении экономической эффективности внедрения реабилитационных технологий при ведении сельскохозяйственного производства на территориях, загрязненных ТМ, должен производиться с учетом действующей в хозяйстве системы налогообложения [30, 134].

Расчет прибыли от реализации (Пн) и чистой прибыли (ЧПн) производится с учетом действующей ставки НДС (по видам продукции) и доли НДС в выручке (формула 9-10) [30, 134]:

$$Пн = [Вн \times (1 - НДС) - Зн] \times O, \quad (9)$$

где: НДС – доля налога в выручке.

$$ЧПн = [Пн \times (1 - н)] \times O, \quad (10)$$

где: н – ставка налога на прибыль, в долях единицы.

Второй показатель – прирост прибыли ($\Delta\P$), является показателем сравнительной экономической эффективности внедренной технологии по производству нормативно безопасной продукции и рассчитывается по формулам двумя способами (формула 11) [30, 134]:

$$\Delta\P = (\Delta B - \Delta Z) \times O, \quad (11)$$

где: ΔB – дополнительный доход (прирост выручки) в сравнении с заменяемым вариантом, руб.; ΔZ – дополнительные затраты при внедрении реабилитационных технологий, руб.

Прирост выручки (ΔB) является совокупным дополнительным доходом от применения технологий по производству экологически безопасной продукции. Факторами формирования дополнительного дохода и прироста прибыли являются предотвращенный ущерб и рост урожайности (продуктивности) [30, 134].

Третий показатель - уровень рентабельности (R_n) производства продукции, соответствующей нормативам, рассчитывается по отношению прибыли (чистой прибыли) к затратам на производство продукции при внедрении новой технологии, в процентах. При этом расчет уровня рентабельности производства может производиться двумя способами - на основе соотношения прибыли и затрат на единицу объема работ (формула 12) или на единицу продукции (формула 13) [30, 134]:

$$R_n = \Pi_n (\text{ЧП}_n) / Z_n \times 100\%, \quad (12)$$

$$R_n = \Pi_n (\text{ЧП}_n) / C_n \times 100\%, \quad (13)$$

где: Π_n (ЧП_n) – прибыль (чистая прибыль) от реализации единицы продукции; Z_n - затраты на производство продукции по новой технологии, руб.; C_n – себестоимость единицы экологически безопасной продукции, руб./ц.

Показатель уровня рентабельности используется при выборе альтернативных вариантов реабилитационных технологий при ведении сельскохозяйственного производства на техногенно загрязненных территориях, имеющих схожее значения прогнозируемой прибыли.

Фактическая экономическая эффективность технологий получения на загрязненных тяжелыми металлами сельских территориях продукции растениеводства и кормопроизводства, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам, определяется по результатам их внедрения в производство на основе расчета показателей прибыли, прироста прибыли и уровня рентабельности формулы 8-13 [30, 134].

Прогноз изменения доли продукции, соответствующей установленным нормативам, составляется по данным о снижении содержания загрязняющих веществ в продукции растениеводства с учетом вида продукции и уровня загрязнения почв, полученным при экспериментальной проверке внедряемых реабилитационных технологий [1, 30].

Изменение доли продукции, не соответствующей установленным нормативам после применения новой технологии, предполагает два варианта расчета ожидаемой величины предотвращенного ущерба и прироста доходов за счет увеличения урожайности:

1. Вся продукция соответствует нормативу при использовании новой технологии;

2. Не весь объем продукции соответствует нормативу после применения реабилитационных технологий.

В первом варианте расчет ожидаемой удельной величины предотвращенного ущерба (ПУ) от нецелевого использования продукции (или ее реализации по заниженным ценам) производится по формулам 14-15 [30 ,140]:

$$\text{ПУ} = \text{дб} \times \text{Уб} \times \Delta\text{Ц}, \quad (14)$$

$$\Delta\text{Ц} = \text{Цн} - \text{Цб}, \quad (15)$$

где: дб - доля продукции, не соответствующей нормативным требованиям до применения реабилитационных технологий (на основе прогноза загрязнения почв и вида продукции), в долях единицы; Уб - среднегодовая урожайность до внедрения РТ, ц/га; $\Delta\text{Ц}$ –дополнительный доход, Цб - цена реализации продукции, не соответствующей нормативам (себестоимость продукции при внутрихозяйственном ее использовании), руб./ц; Цн - цена реализации экологически безопасной продукции, руб./ц.

Ожидаемый прирост доходов за счет роста урожайности культур ($\Delta\text{Ду}$) в расчете на гектар при этом будет определяться как (формула 16-17) [30 ,140]:

$$\Delta\text{Ду} = \Delta\text{У} \times \text{Цн}, \quad (16)$$

$$\Delta\text{У} = \text{Ун} - \text{Уб}, \quad (17)$$

где: $\Delta\text{У}$ – прирост урожайности; Ун – урожайность после применения реабилитационных технологий, ц/га (определяется по результатам экспериментальной проверки применения разработанной технологии производства нормативно чистой продукции).

Во втором варианте расчет ожидаемой удельной величины предотвращенного ущерба производится с учетом прироста доли продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам (формула 18) [30 ,140]:

$$\text{ПУ} = \Delta\text{д} \times \text{Уб} \times \Delta\text{Ц}, \quad (18)$$

где: $\Delta\text{д}$ - прирост доли нормативно чистой продукции при использовании реабилитационных технологий (прогноз для загрязнения почв и вида продукции), в долях единицы.

Ожидаемый прирост доходов за счет роста урожайности культур определяется в этом случае также с учетом прироста доли нормативно чистой продукции (формула 19) [30 ,140]:

$$\Delta\text{Ду} = \Delta\text{д} \times \Delta\text{У} \times \text{Цн} \quad (19)$$

При условии, что до применения реабилитационных технологий уровень концентрации загрязняющих веществ в продукции исключал ее реализацию или внутривозрастное использование, в формулы (14) и (18) расчета величины предотвращенного ущерба вместо ΔC подставляется C_n , так как величина $C_b=0$.

Для расчета ожидаемой прибыли и ее прироста рассчитывается суммарный ожидаемый доход (B_n) от реализации экологически безопасной продукции и затраты по внедряемой технологии, в том числе их прирост в сравнении со стандартной технологией ведения растениеводства. Ожидаемый доход (с учетом прогнозируемых объемов внедрения) рассчитывается на основе тех же показателей, по которым производится расчет прироста доходов - по данным об урожайности по новой технологии (U_n) и цене реализации экологически безопасной продукции (C_n) [30,140].

Дополнительные затраты в растениеводстве и кормопроизводстве включают расходы на проведение добавочных (в сравнении со стандартной технологией) технологических операций или расходы по внесению повышенных доз удобрений, а также расходы, связанные с уборкой дополнительного урожая. Например, дополнительные расходы по внесению удобрений (или их повышенной дозы), рассчитываются по формуле 20 [30,140]:

$$\Delta Z = (U_d + Z_v + Z_u) \times O, \quad (20)$$

где: U_d - стоимость гектарной нормы удобрений (или стоимость ее превышения в сравнении со стандартной технологией), руб./га; Z_v - затраты на внесение удобрений (или их повышенной дозы), руб./га; Z_u - затраты на уборку дополнительного урожая, руб./га.

Ожидаемая величина прибыли от реализации нормативно чистой сельскохозяйственной продукции (P_n и $ЧП_n$), а также ее прирост (ΔP и $\Delta ЧП$) рассчитываются в соответствии с формулами 4-11 Прогнозируемый уровень рентабельности при внедрении новой технологии рассчитывается на основе формул 12-13 [30,140].

Разработанная методология оценки эффективности внедрения реабилитационных технологий при производстве сельскохозяйственной продукции, удовлетворяющей экологическим нормативам, позволила перейти к сбору и обобщению данных по экологической и технологической эффективности мероприятий и, разработать базу данных по эколого-экономической эффективности технологий ведения сельского хозяйства на территориях, загрязненных тяжелыми металлами. Разработана компьютерная система поддержки принятия решений по обоснованию технологий ведения растениеводства и кормопроизводства на территориях, загрязненных тяжелыми металлами.

2.5. Методологические подходы к комплексной оценке экологической и экономической эффективности реабилитационных мероприятий

Оценка эколого-экономической эффективности внедрения реабилитационных мероприятий при ведении сельского хозяйства на территориях, загрязненных ТМ, проводилась в несколько этапов [135, 139].

I. Оценка экологической обстановки. Основной целью этого этапа является определение необходимости применения реабилитационных мероприятий [30]. При обнаружении в ходе экологического мониторинга, превышений содержания ТМ в сельскохозяйственной продукции хозяйств возникает необходимость внедрения реабилитационных мероприятий. Проводится определение и оценка вклада основных факторов, влияющих на загрязнение сельскохозяйственной продукции:

- содержание ТМ в почвах сельскохозяйственных угодий;
- концентрация ТМ в продукции растениеводства;
- тип и свойства почв (агрохимические характеристики);
- эффективность проведенных стандартных и реабилитационных мероприятий (кратность снижения содержания ТМ в сельскохозяйственной продукции).

Все собранные данные об экологической обстановке используются при выполнении анализа потенциально эффективных реабилитационных мероприятий для хозяйств, в которых необходимо их внедрение.

II. Обоснование потенциально эффективных реабилитационных мероприятий с учетом экологической обстановки и характеристик ведения сельскохозяйственного производства [30]. На основе данных по видам продукции, где отмечено превышение содержания ТМ, определяется перечень потенциальных реабилитационных мероприятий, и их комбинаций, применение которых позволит уменьшить содержание в ней ТМ до уровней, установленных действующими санитарно-гигиеническим нормативами, т.е. наиболее эффективных по экологическим критериям. На этом этапе, для мероприятий со сходными экологическими критериями, проводится также оценка их стоимости и затрат на внедрение – анализ экономической эффективности. При этом учитываются: площадь загрязненного участка (га), валовый сбор продукции (т), урожайность (ц/га) или продуктивность (кг(л)/год). На основе сравнительного анализа достоинств и недостатков применения отдельных реабилитационных мероприятий дается обоснование и формируется список наиболее эффективных [30-31].

Методические подходы к оценке экономической эффективности реабилитационных мероприятий, структура экономического эффекта и расчет основных его составляющих имеют свои особенности, в связи с тем, что экономическому обоснованию мероприятий предшествует

их экологическое обоснование [135]. Как было отмечено выше, экономическое обоснование внедрения реабилитационных мероприятий при производстве экологически безопасной сельскохозяйственной продукции осуществляется на основе оценки величины предотвращенного производственного ущерба.

Основные положения по определению экономической эффективности технологических приемов, обеспечивающих производство на техногенно загрязненных территориях продукции, удовлетворяющей санитарно-гигиеническим нормативам, включают в себя [30]:

1. Расчет основных показателей экономической эффективности реабилитационных мероприятий. Параметрами базовой технологии являются: себестоимость продукции (руб.); среднегодовая урожайность (ц/га) или продуктивность (кг(л)/год); дополнительный доход (руб.); доля продукции, не соответствующей установленным нормативам, к общему объему произведенной продукции; цена реализации нормативно чистой продукции и продукции, не удовлетворяющей санитарно-гигиеническим нормативам (руб.); прирост прибыли от реализации экологически безопасной продукции (руб.) и рентабельность дополнительных затрат (%) [30];

2. Определение экономической эффективности мероприятий по производству нормативно чистой продукции на стадии, предшествующей их внедрению, на основе оценки ожидаемых значений показателей эффективности. Производится на основе сопоставления соответствующих параметров стандартной и, полученных в ходе экспериментальных проверок внедрения, разработанной технологии. К дополнительным параметрам разработанных мероприятий относятся: дополнительные затраты по отношению к стандартной технологии производства; урожайность (продуктивность); прогнозируемая доля нормативно «чистой» продукции после внедрения реабилитационных мероприятий [30];

3. Определение экономической эффективности капитальных вложений в производство экологически безопасной продукции. Затраты на проведение мероприятий, обеспечивающих получение нормативно чистой продукции и улучшение земель в течение нескольких лет в соответствии со сроком их действия (например, известкование и фосфоритование почв, поверхностное и коренное улучшение земель), относятся к капитальным вложениям. Себестоимость сельскохозяйственной продукции включает капитальные вложения в течение всего срока их действия. Расчет показателей экономической эффективности капитальных вложений также производится на весь период действия технологий, обеспечивающих получение сельскохозяйственной продукции, удовлетворяющей санитарно-гигиеническим нормативам [30];

III. Сравнительный анализ эффективности реабилитационных мероприятий.

Основной целью этого этапа является определение комбинаций реабилитационных

мероприятий, имеющих наибольшую эффективность во всем периоде времени, когда их применение оправданно по любому из выделенных выше критериев. Данная оценка проводится на основе анализа следующих показателей [30-31]:

- Обеспечение внедрением данных мероприятий соответствия полученной сельскохозяйственной продукции нормативам;
- Прирост прибыли после внедрения реабилитационной мероприятий;
- Рентабельность дополнительных затрат.

Таким образом, оценка экологической и экономической эффективности реабилитационных мероприятий и их комплексов по получению нормативно «чистой» сельскохозяйственной продукции включает несколько последовательных многозадачных этапов, каждый из которых имеет свои особенности и определяется анализом ряда показателей.

ГЛАВА 3. ВЛИЯНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ИСТОЧНИКОВ НА ПОСТУПЛЕНИЕ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В КОМПОНЕНТЫ АГРОЭКОСИСТЕМ

3.1. Минеральные удобрения как источник поступления тяжелых металлов в почвы сельскохозяйственных угодий

В лабораторных исследованиях был проведен анализ коллекции из 119 проб различных видов и форм минеральных удобрений, наиболее широко применяемых на сельскохозяйственных угодьях.

Анализ полученных результатов показал, что содержание тяжелых металлов в сложных и комплексных удобрениях выше, чем в азотных и калийных (таблица 20). При этом в азотных удобрениях: карбамиде, карбамидно-аммиачной смеси (КАС), воде аммиачной, аммиачной селитре, сульфате аммония, содержание кадмия, как одного из наиболее приоритетных токсикантов, составляет менее 0,5 мг/кг.

Таблица 20 – Диапазоны содержания тяжелых металлов в разных видах минеральных удобрений и агроメリорантов, мг/кг [33-34, 141-142]

Наименование	Кол-во проб	As	Pb	Cd	Zn	Co	Ni	Cu
Карбамид	11	<u>0-2</u> *0,5	<п.о.	<u>0,1-0,5</u> 0,2	<u>7,5-23,7</u> 14,8	<u>0-2</u> 0,5	<u>0,1-0,2</u> 0,1	<u>13,7-21,9</u> 14,7
КАС	5	<u>0,1-0,7</u> 0,4	<u>0,1-0,2</u> 0,1	<u>0,1-0,5</u> 0,3	<u>23,5-63,5</u> 44,1	<u>0-1</u> 0,2	<u>1,5-3,7</u> 2,3	<u>22,8-42,8</u> 27,5
Селитра аммиачная	10	**<п.о.	<u>0,1-0,3</u> 0,2	<u>0,1-0,5</u> 0,3	<u>22,4-65,8</u> 45,3	<u>1-2</u> 1,5	<u>5,6-12,7</u> 9,2	<u>23,7-41,5</u> 34,5
Вода аммиачная	3	<u>0-12</u> 2	<u>0-1</u> 0,05	<u>0,1-0,5</u> 0,2	<u>54,4-146,3</u> 86,3	<u>2-7</u> 5	<u>1,4-5,8</u> 3,2	<u>15,8-23,4</u> 16,3
Сульфат аммония	7	<u>0-18</u> 2,5	<u>0-2</u> 1,0	<u>0,1-0,5</u> 0,3	<u>25,1-74,1</u> 44,2	<u>1-2</u> 1,5	<u>7,5-13,5</u> 11,2	<u>25,7-36,1</u> 30,7
Селитра калийная	4	<u>0,5-1,0</u> 0,7	<u>7,4-22,1</u> 13,3	<п.о.	<u>7,1-33,2</u> 14,3	<u>1-2</u> 1,5	<u>11,5-23,5</u> 17,8	<u>27,8-42,3</u> 36,7
Селитра кальциевая	6	<u>0,3-0,8</u> 0,5	<u>7,4-22,1</u> 4,5	<п.о.	<u>9,5-36,1</u> 15,4	<u>2-5</u> 3	<u>12,5-24,7</u> 21,1	<u>23,9-41,2</u> 32,2
Калий хлористый	8	<u>0,3-1,4</u> 0,7	<u>7,0-21,5</u> 11,3	<u>0,3-2,5</u> 2,0	<u>17,5-41,2</u> 25,1	<u>0,1-0,2</u> 0,1	<u>9,5-17,5</u> 13,3	<u>6,8-14,5</u> 12,9
Калийная соль	4	<u>0,4-2,3</u> 0,9	<u>8,0-27,1</u> 14,1	<u>0,3-3,7</u> 2,5	<u>24,5-56,7</u> 32,4	<u>0,2-0,3</u> 0,2	<u>11,7-21,8</u> 16,4	<u>8,3-19,1</u> 14,8
Аммофос	7	<u>0,5-2,1</u> 1,3	<u>15,0-41,5</u> 26,8	<u>1,5-5,6</u> 3,8	<u>47,5-112,3</u> 75,1	<u>2-6</u> 4	<u>22,5-34,3</u> 27,7	<u>33,8-51,2</u> 43,5
Диаммофос	4	<u>0,3-1,4</u> 0,6	<u>11,0-29,4</u> 17,3	<u>1,1-4,2</u> 3,0	<u>37,7-75,4</u> 53,4	<u>1-4</u> 3	<u>17,4-23,3</u> 19,4	<u>27,3-36,8</u> 33,1
Азофоска	8	<u>0,2-1,1</u> 0,5	<u>21,0-52,4</u> 31,7	<u>1,4-5,0</u> 3,5	<u>59,4-133,5</u> 78,2	<u>1-3</u> 2	<u>20,2-27,2</u> 25,1	<u>35,1-45,4</u> 37,2
Нитрофоска	7	<u>0,3-1,4</u> 0,7	<u>15,0-43,5</u> 24,8	<u>1,7-6,2</u> 3,7	<u>45,1-114,4</u> 61,7	<u>1-3</u> 2	<u>26,4-40,5</u> 35,7	<u>29,4-51,5</u> 39,1
Суперфосфат простой	7	<u>0,5-1,7</u> 0,9	<u>14,3-36,1</u> 21,4	<u>1,0-3,2</u> 1,7	<u>52,3-121,1</u> 72,7	<u>2-4</u> 3	<u>29,3-42,1</u> 37,8	<u>21,7-49,4</u> 37,4
Суперфосфат двойной	9	<u>0,3-1,2</u> 0,6	<u>11,3-28,2</u> 15,5	<u>0,6-2,4</u> 1,2	<u>32,3-83,4</u> 42,9	<u>1-3</u> 2	<u>22,4-33,5</u> 29,4	<u>19,8-35,5</u> 25,8
Преципитат	3	<u>0,1-0,7</u> 0,4	<u>3,3-13,2</u> 7,5	<u>0,3-1,2</u> 0,6	<u>21,1-42,5</u> 28,8	<u>0-1</u> 0,2	<u>9,5-13,9</u> 12,5	<u>15,8-28,3</u> 21,4

Мука фосфоритная	7	<u>3,1-23,4</u> 6,5	<u>32,2-83,5</u> 43,7	<u>3,7-8,2</u> 5,6	<u>77,7-152,7</u> 98,4	<u>11-28</u> 16	<u>29,5-53,8</u> 35,5	<u>35,4-58,1</u> 37,6
Мука известняковая	4	<u>0,1-0,3</u> 0,2	<u>2,3-8,4</u> 5,7	<u>0,3-1,0</u> 0,6	<u>27,7-62,8</u> 43,5	<u>2-4</u> 3	<u>7,4-23,1</u> 16,3	<u>5,8-9,5</u> 7,7

* - среднее содержание; **<п.о. – меньше предела обнаружения используемой методики

Мышьяк и свинец, относящиеся также к 1-ому классу опасности, не обнаружены в аммиачной селитре и КАС марки 28. В 18 образцах карбамида 9 различных заводов-изготовителей отсутствует свинец; мышьяк обнаружен в карбамиде производства 2-х заводов: "Ангарскнефтеоргсинтез" и " «ПМУ» АО «ОХК «Уралхим»", причем в первом случае во всех 3-х образцах – в концентрации 2 мг/кг, во втором – в одном из 3-х образцов в той же концентрации. В воде аммиачной производства 5 заводов: Невинномысского, Новомосковского и Новгородского ПО "Азот", Липецкого МК, Московского КГЗ свинец присутствует только в Невинномысском удобрении в концентрации 1 мг/кг, содержание мышьяка варьирует от 2 (Московский КГЗ) до 12 мг/кг (Невинномысский ПО "Азот").

В 10 образцах сульфата аммония 5 заводов – изготовителей: ПО "Корунд", Дорогобужской ТЭЦ, Новомосковского ПО "Азот" Орско-Халиловского МК свинец и мышьяк отсутствовали лишь в продукте Новомосковского ПО "Азот", свинец – Дорогобужской ТЭЦ. В остальных случаях содержание свинца колебалось на одном уровне – 1-2 мг/кг, мышьяка – от 2 мг/кг (Дорогобужская ТЭЦ) до 18 мг/кг (Орско-Халиловский МК). Калиевая и кальциевая селитры уступали по своему качеству селитре аммиачной: среднее содержание свинца в кальциевой селитре составило 4,5 в калиевой – 13,3 мг/кг, мышьяка – от 0,5 до 1 мг/кг. Кадмий отсутствовал в обоих случаях. Содержание цинка наибольшее в воде аммиачной: среднее его значение составило 86 мг/кг, что в 2 раза больше, чем в сульфате аммония и КАС, в 6 раз больше, чем в карбамиде и селитрах аммиачной и кальциевой. В воде аммиачной содержатся также наибольшие значения кобальта (5 мг/кг), хрома (92 мг/кг) марганца (173 мг/кг), никеля (54 мг/кг) [33, 141-142].

Таким образом, с точки зрения содержания тяжелых металлов наиболее безопасными являются азотные удобрения, среди которых наиболее загрязнены сульфат аммония и аммиачная вода [33].

Уровень содержания ТМ в калиевых удобрениях приблизительно совпадает с их концентрацией в азотных удобрениях, однако превышает его по содержанию свинца (примерно в 20 раз). Калий хлористый различных марок и зернистости заводов - изготовителей ПО "Сильвинит", ПО "Уралкалий", 4-го Березниковского рудоуправления содержит весь набор определяемых элементов (кроме кобальта, содержание которого находится на уровне предела обнаружения). При этом содержание свинца в КС1 ПО "Уралкалий" приблизительно в 3 раза меньше, чем в том же продукте ПО "Сильвинит" и 4-го Березниковского рудоуправления [33].

Несколько большее содержание ТМ в сложных и комплексных удобрениях. В среднем в них содержится кадмия на порядок больше, чем в азотных, свинца – почти в 20 раз больше, чем в азотных, мышьяка – вдвое больше, чем в калийных. Среди сложных и комплексных удобрений наиболее загрязненными тяжелыми металлами являются аммофос и азофоска.

Содержание кадмия в фосфорных удобрениях оказалось в 5-7 раз выше, чем в азотных и калийных, цинка – в 1,6-2,0 раза, а свинца – в 1,6 раза выше, чем в калийных и в 32,5 раза выше, чем в азотных удобрениях.

Анализ полученных результатов показал, что содержание ТМ в сложных и комплексных удобрениях выше, чем в азотных и калийных. При этом в азотных удобрениях: карбамиде, КАС, воде аммиачной, аммиачной селитре, сульфате аммония содержание Cd, одного из наиболее приоритетных токсикантов, составляет незначительное количество (менее 0,5 мг/кг).

Таким образом, наибольшую экологическую опасность при внесении повышенных доз минеральных удобрений на сельскохозяйственные угодья представляют фосфорные удобрения. Вместе с тем следует отметить, что сделанные выводы основываются на экспериментальных данных, полученных при работе с ограниченным количеством образцов: 18 калийных, 52 азотных, 26 фосфорных и 30 образцов сложных и комплексных удобрений. При этом в располагаемых образцах фосфорных удобрений содержание тяжелых металлов оказалось значительно ниже максимальных уровней. В фосфорных удобрениях по данным работы [143-144], концентрация тяжелых металлов может достигать следующих уровней: марганца – 2842, меди – 10, цинка – 3000, свинца – 92, никеля – 32, железа – 1650 и кадмия – 170 мг/кг.

Таким образом, при сильно загрязненном сырье минеральные удобрения и их внесение в повышенных количествах может представлять экологическую опасность и, в первую очередь, из-за высокого содержания кадмия. Кроме того, следует отметить, что содержание тяжелых металлов в удобрениях зависит от многих факторов: от качества поступающего сырья, технологии его переработки, чистоты применяемых химических реагентов при его переработки и т.д. Уровень загрязнения тяжелыми металлами может меняться от партии к партии, даже если удобрение произведено на одном заводе.

Вследствие этого при оценке минеральных удобрений, как источника поступления тяжелых металлов нельзя не учитывать, что в почвы сельхозугодий при выращивании продукции растениеводства на загрязненных тяжелыми металлами территориях даже сравнительно невысокие количества тяжелых металлов, вносимых с минеральными удобрениями, могут усугубить ситуацию, оказавшись той опасной дозой, которая вызывает необратимые изменения в почве. Кроме того, интенсивное использование минеральных удобрений и известки может приводить не только к накоплению тяжелых металлов в почве, но и изменяет формы нахождения тяжелых металлов и их биологическую подвижность. В связи с

этим наиболее актуальным вопросом в аграрной экологии является изучение подвижности ТМ в системе почва-растение при различных технологиях возделывания сельскохозяйственных культур.

Так же стоит отметить, что качество российских удобрений намного выше по содержанию ТМ, чем зарубежных. Содержание кадмия в австралийском суперфосфате составляет 38–42 мг/кг, в американских гравийных фосфатах – около 13 мг/кг, в алжирских, марокканских и израильских – около 25 мг/кг, в тунисских и западноафриканских – до 50 мг/кг, в сенегальских – около 70 мг/кг. Количество ТМ в фосфорных удобрениях, выпускаемых в нашей стране, колеблется в широких пределах, составляя в среднем 3 мг/кг [141-142, 145].

При сравнении отечественных удобрений и зарубежных самые «грязные» - фосфориты из Австралии, в них содержание кадмия достигает 170 мг/кг. Затем идут США и Канада до 100 мг/кг, причем фосфаты с Запада США - грязнее в целом, чем в Северной Америке: 70-155 мг/кг. В изученных образцах из Польши обнаружено большое количество меди свыше 6000 мг/кг (таблица 21).

Таблица 21 – Содержание ТМ в минеральных удобрениях разных стран, мг/кг

Страна /Марка удобрений	Cd	Pb	As	Cr	Ni	Cu
Китай (собственные данные)						
N ₂₀ P ₂₀ K ₂₀ +МЭ	0,25	1,54	1,98	нд.	нд.	нд.
N ₁₃ P ₄₀ K ₁₃ + МЭ	0,20	2,63	1,99	нд.	нд.	нд.
N ₁₂ P ₁₀ K ₂₄ + 6CaO + МЭ	0,11	1,16	0,94	нд.	нд.	нд.
N ₁₀ P ₅₂ K ₁₀ + МЭ	0,21	1,13	1,51	нд.	нд.	нд.
N ₁₂ P ₆ K ₃₆ + 2MgO + 4,5S + МЭ	0,04	1,42	1,34	нд.	нд.	нд.
N ₂₀ P ₁₀ K ₂₂ +2MgO +2S +МЭ	0,10	1,28	1,17	нд.	нд.	нд.
N ₇ P ₁₄ K ₃₈ + 2MgO + 5S + МЭ	0,32	3,13	1,31	нд.	нд.	нд.
Польша (собственные данные)						
Доктор грин «Энергия» (N ₁₀ K ₄₀ **)	0,29	1,34	4,99	0,22	6,12	нд.
Доктор грин «Старт» (N ₁₂ P ₆₀ **)	1,22	6,59	4,07	37,40	12,70	нд.
Доктор грин «Качество» (P ₅₀ K ₃₄ **)	3,39	10,50	15,90	87,80	47,90	нд.
Комплексные [146]	13	13	нд.	60	нд.	26
Ливан [147]						
Двойной суперфосфат	4	<3	2,0	87	15	14
Тройной суперфосфат	7	3	4,5	198	27	20

Австрия [148]*						
N ₁₅ P ₁₅ K ₁₅	3,44	нд.	нд.	нд.	нд.	18,62
N ₁₅ P ₁₅ K ₁₅	3,76	нд.	нд.	нд.	нд.	16,18
Хорватия [148]*						
N ₁₀ P ₃₀ K ₂₀	2,62	нд.	нд.	нд.	нд.	24,43
N ₁₅ P ₁₅ K ₁₅	0,31	8,6	нд.	нд.	нд.	13,01
Греция [148]*						
N ₁₉ P ₉ K ₁₉	0,22	11,1	нд.	нд.	нд.	161,2
Венгрия [148]*						
N ₁₀ P ₁₀ K ₂₀	0,42	8,5	нд.	нд.	нд.	974
N ₁₄ P ₁₁ K ₂₅	нд.	нд.	нд.	нд.	нд.	112
Румыния [148]*						
N ₁₅ P ₁₂ K ₁₅	0,27	нд.	нд.	нд.	нд.	17,62
N ₁₅ P ₁₅ K ₁₅	0,50	нд.	нд.	нд.	нд.	14,30
Нидерланды [148]*						
N ₁₂ P ₁₃ K ₁₂	0,40	нд.	нд.	нд.	нд.	209,81
N ₁₅ P ₉ K ₉	нд.	нд.	нд.	нд.	нд.	609,97
Канада [148]*						
Фосфорные удобрения	2,1-9,3	нд.	нд.	нд.	нд.	нд.
Австралия [148]						
Суперфосфат из фосфоритов	150-170	нд.	нд.	нд.	нд.	нд.
Фосфорные удобрения	18-91	нд.	нд.	нд.	нд.	нд.
Голландия [149]						
Фосфорные удобрения	9-60	нд.	нд.	нд.	нд.	нд.
Швеция [149]						
Фосфорные удобрения	2-30	нд.	нд.	нд.	нд.	нд.
США [148-149]						
Суперфосфат	5-100	нд.	нд.	нд.	нд.	нд.
Диаммофос	74-153	нд.	нд.	нд.	нд.	нд.
N ₁₅ P ₁₁ K ₂₉	0,41	9,5	нд.	нд.	нд.	нд.

Фосфорные удобрения	7,4-156	нд.	нд.	нд.	нд.	18,62
---------------------	---------	-----	-----	-----	-----	-------

* - водорастворимая концентрация

**[167]

нд. – нет данных

3.2. Влияние минеральных удобрений и агроメリорантов на накопление тяжелых металлов в почве и урожае сельскохозяйственных культур при длительном их применении

Влияние минеральных удобрений и средств химизации на плодородие почв, продуктивность и качество урожая сельскохозяйственных культур, несмотря на многолетние исследования, является неоднозначным. С одной стороны, наличие в удобрениях ТМ представляет собой потенциальную опасность загрязнения почв, растений и подземных вод, с другой, оптимизируя агрохимические свойства (поглонительную способность почв, содержание гумуса и элементов питания, а также их соотношение в почвенном растворе), они могут являться фактором детоксикации загрязненных ТМ почв. Вместе с тем ухудшение агрохимических свойств почв во всех случаях способствует существенному возрастанию подвижности ТМ в системе почва-растение и опасному их накоплению в сельскохозяйственной продукции. В связи с этим для комплексной оценки поведения ТМ в системе почва-растение необходим всесторонний учет всех факторов, оказывающих модифицирующее влияние на их накопление в урожае растений [33, 141].

Влияние различных систем минеральных удобрений на накопление ТМ в почве и растениях изучалось в полевом эксперименте в виде 5-ти блоков: контроль (без удобрений); варианты доз азотных удобрений от 0 до 150 кг/га; дозы фосфорных удобрений от 0 до 120 кг/га; дозы калийных удобрений от 0 до 150 кг/га; 5) применение минеральных удобрений и известки [34]

Установлено, что многолетнее систематическое применение различных доз минеральных удобрений или их полное отсутствие оказывает существенное влияние как на баланс элементов питания, так и на основные агрохимические показатели выщелоченного чернозема. Наибольший отрицательный баланс элементов питания в почве наблюдался в контрольных вариантах без внесения удобрений и при применении несбалансированных по элементам питания и дозам минеральных удобрений, что приводило к ухудшению почвенного плодородия, изменению биологической подвижности ТМ и урожайности зерновых культур [33, 141] (таблица 22).

Таблица 22 – Баланс элементов питания в сумме за 20-летний период в системе растение-удобрение в среднем по четырем полям на выщелоченном черноземе, кг/га [33]

Вариант	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	CaO
Контроль	-1320	-576	-1310	-450
P ₆₀ K ₆₀	-1390	+612	-131	-503
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	-1130	+490	-297	-571
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	-796	+418	-412	-607
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	-583	+412	-486	-628
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	-207	+418	-493	-637
N ₉₀ K ₉₀	-774	-677	-435	-598
N ₉₀ P ₃₀ K ₆₀	-758	-43	-404	-591
N ₉₀ P ₉₀ K ₆₀	-829	+964	-467	-622
N ₉₀ P ₆₀	-691	+460	-1446	-576
N ₉₀ P ₆₀ K ₃₀	-779	+428	-943	-587
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	-827	+393	+103	-624
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₆₀	-771	+269	-462	-598
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + CaCO ₃	-803	+430	-482	+5348
N ₉₀ P ₆₀ K ₁₅₀	-830	+365	+626	-631

При этом в большинстве вариантов наблюдалось подкисление почвенного раствора и в наибольшей степени в вариантах с несбалансированным применением азотно-фосфорных и азотно-калийных удобрений (таблица 23). Вместе с тем внесение в почву известняковой муки (до 7 т/га) способствовало нейтрализации кислотности и возрастанию значений pH почвенного раствора на 0,4 единицы [33].

Таблица 23 – Влияние систематического длительного применения удобрений на свойства почвы выщелоченного чернозема в разные годы исследований, (в среднем по севообороту) [33]

Вариант	pH _{KCl}			P ₂ O ₅ , мг/кг			K ₂ O, мг/кг		
	Годы исследований								
	1986	1998	2006	1986	1998	2006	1986	1998	2006
Контроль	5,2	5,0	4,9	119	93	132	151	142	131
P ₆₀ K ₆₀	5,1	4,9	4,8	103	130	145	151	180	188
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,1	4,9	4,8	124	131	144	147	182	185
N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	5,1	4,8	4,8	119	145	161	155	170	173
N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	5,0	4,9	4,7	112	143	156	152	165	161
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	5,0	4,9	4,6	118	138	142	160	157	150
N ₉₀ K ₉₀	5,1	4,9	4,6	93	82	120	155	182	188
N ₉₀ P ₃₀ K ₆₀	5,2	4,9	4,8	101	118	121	150	180	185
N ₉₀ P ₉₀ K ₆₀	5,0	4,9	4,8	146	163	168	150	180	185
N ₉₀ P ₆₀	5,1	4,9	4,7	119	149	158	136	128	120
N ₉₀ P ₆₀ K ₃₀	5,1	4,9	4,8	124	144	147	146	149	141
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	5,0	4,9	4,8	117	146	157	165	245	253
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₆₀	-	4,9	4,8	-	126	140	-	163	168
N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀ + CaCO ₃	-	5,4	5,6	-	136	152	-	190	194
N ₉₀ P ₆₀ K ₁₅₀	-	4,9	4,8	-	140	158	-	287	309

За время проведения исследований содержание обменного калия в почве контрольных вариантов без внесения удобрений и в вариантах с применением несбалансированных доз

азотно-фосфорных удобрений снизилось, соответственно, на 20 и 16 мг/кг. В то время как внесение повышенных доз калийных удобрений ($N_{90}P_{60}K_{150}$), наоборот, способствовало возрастанию содержания калия в почве на 22 мг/кг (таблица 23) [141].

Содержание P_2O_5 в пахотном слое почвы в вариантах с внесением возрастающих доз фосфора на НК-фоне дифференцировано и связано с балансом этих элементов в системе растение-удобрение (таблица 23). Кажущаяся же нелогичная динамика повышения содержания подвижного фосфора в почве при длительном отсутствии фосфорных удобрений или применении незначительных доз фосфорных удобрений, вероятно, обусловлена повышением обеспеченности пахотного слоя почвы подвижным фосфором за счет трансформации малоподвижных форм органофосфатов гумуса в более подвижные соединения, проявляющееся обычно на полях при экстенсивном возделывании сельскохозяйственных культур [79].

Изменение агрохимических характеристик почвы при длительном и систематическом внесении одних и тех же доз минеральных удобрений оказывает существенное влияние и на урожайность зерновой продукции (таблица 24). В контрольных вариантах ухудшение агрохимических свойств почв привело к снижению в 1,3-1,7 раза урожайности озимой и яровой пшеницы. В тоже время для овса эти различия являются менее значимыми [141].

Таблица 24 – Динамика урожайности зерновых культур в разные годы исследования, т/га [141]

Вариант	Озимая пшеница			Овес			Яровая пшеница			
	Годы исследований									
	1986	1998	2006	1986	1998	2006	1986	1998	2006	2014
Контроль	4,26	2,80	2,52	2,64	3,49	2,73	2,90	2,36	2,23	2,35
$P_{60}K_{60}$	4,21	2,80	2,90	2,74	3,52	3,03	3,16	2,70	2,37	2,48
$N_{60}P_{60}K_{60}$	5,24	4,35	3,77	3,08	4,77	3,13	3,72	4,37	3,23	3,09
$N_{90}P_{60}K_{60}$	5,89	4,89	4,20	3,40	4,61	3,35	4,14	5,06	3,64	3,37
$N_{120}P_{60}K_{60}$	5,89	4,75	4,95	3,49	4,42	4,53	4,48	5,28	4,21	3,22
$N_{150}P_{60}K_{60}$	6,09	4,68	5,37	3,54	4,08	3,75	4,53	5,07	4,42	3,10
$N_{90}K_{90}$	5,58	4,70	4,20	3,46	4,53	3,24	4,20	4,89	3,17	3,28
$N_{90}P_{30}K_{60}$	5,92	4,81	4,35	3,56	4,55	3,35	4,23	4,83	3,34	3,22
$N_{90}P_{90}K_{60}$	6,03	4,63	4,85	3,51	4,53	3,53	4,24	4,85	3,62	3,30
$N_{90}P_{60}$	5,57	4,33	3,90	3,47	4,29	3,21	3,96	4,60	3,05	2,27
$N_{90}P_{60}K_{30}$	5,84	4,86	4,10	3,53	4,54	3,45	4,04	4,82	3,36	3,14
$N_{90}P_{60}K_{90}$	5,93	4,98	4,75	3,56	4,70	3,64	4,22	5,13	3,56	3,25
$N_{90}P_{120}K_{60}$	5,72	5,01	4,73	-	4,71	3,48	-	4,75	3,73	3,39
$N_{90}P_{60}K_{90}+CaCO_3$	5,72	4,78	4,68	-	4,62	3,55	-	4,48	3,95	3,26
$N_{90}P_{60}K_{150}$	6,14	4,92	4,59	-	4,80	3,74	-	4,84	4,13	3,52

Анализ полученных результатов в результате многолетнего полевого опыта позволяет заключить, что при увеличении дозы минеральных удобрений наблюдается повышение урожайности яровой пшеницы (таблица 23, рисунок. 12). Наибольшей урожайностью (3,39 т/га) характеризуется внесением азотных удобрений в дозе $N_{90}P_{60}K_{60}$. При этом следует отметить, что азот является доминирующим элементом в повышении урожайности пшеницы.

Наименьшая продуктивность пшеницы (2,48 т/га) наблюдалась при внесении удобрений без применения азотной компоненты ($P_{60}K_{60}$) и была сопоставима с контролем (таблица 24).

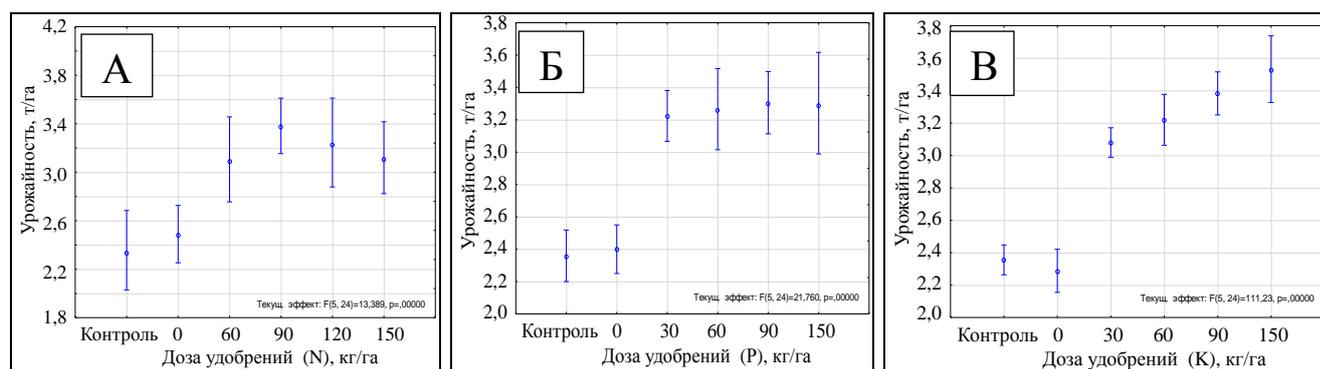


Рисунок 12 – Урожайность яровой пшеницы в зависимости от дозы удобрений (А-азотных; Б-фосфорных; В-калийных) (плашка погрешности - ошибка среднего)

Внесение различных доз фосфорных удобрений приводит к повышению урожайности яровой пшеницы на уровне 3,22-3,30 т/га относительно контроля 2,35 т/га (таблица 24, рисунок 12).

В опытах с отсутствием калийных удобрений (таблица 24, рисунок 12) отмечено снижение урожайности пшеницы ниже контрольных значений. При этом внесение калийных удобрений позволяет значительно увеличить урожайность пшеницы. Наибольшее значение данного фактора фиксируется при внесении удобрений в сочетании $N_{90}P_{60}K_{150}$ и составляет 3,52 т/га (таблица 24, рисунок 12).

В агроэкологических исследованиях для оценки подвижности ТМ в системе почва-растение используют различные показатели, в том числе коэффициенты накопления, соотносящие их концентрации в почве и урожае сельскохозяйственных культур [141, 150-151].

Согласно результатам исследований наибольший КН свинца в пшенице наблюдаются при внесении удобрений в дозе $N_{120}P_{60}K_{60}$ и составляет 0,064, наименьшее значение при внесении удобрений в дозе $P_{60}K_{60}$ – 0,038. Содержание Pb в зерне яровой пшеницы в большинстве случаев не выходило за пределы допустимых значений, установленных СанПиН 2.3.2.1078-01 [136]. Для кадмия наибольший КН соответствует дозе удобрений $N_{90}K_{60}$ – 1,80, наименьший КН соответствует дозе минеральных удобрений $N_{90}P_{60}K_{30}$ – 0,91. При этом, несмотря на относительно небольшие концентрации Cd в почве, накопление его в зерне яровой пшеницы в большинстве случаев превышает нормы СанПиН 2.3.2.1078-01 в 1,2-1,8 раза. Значительное накопление Cd в зерне яровой пшеницы по сравнению с Pb, вероятно, связано с высокой подвижностью этого элемента в кислых почвах, в результате чего он легко транслоцируется в растения и накапливается в больших концентрациях. При этом длительное применение повышенных доз азотных и калийных удобрений ($N_{90}K_{60}$, $N_{90}P_{60}$, $N_{150}P_{60}K_{60}$, $N_{90}P_{60}K_{150}$)

обуславливает увеличение его накопления в зерне яровой пшеницы в 1,5-2,0 раза по сравнению с контролем. В то же время в вариантах с проведением известкования содержание Cd в зерне существенно не отличается от контрольных вариантов (таблица 25) [33].

Таблица 25 – Влияние различных агрохимических мероприятий на накопление тяжелых металлов в зерне яровой пшеницы

№ п.п.	Вариант	Pb		Cd		Cu	
		мг/кг	КН*	мг/кг	КН	мг/кг	КН
1	Контроль	0,35±0,06	0,036	0,09±0,01	1,12	5,75±0,17	0,34
2	P ₆₀ K ₆₀	0,33±0,07	0,038	0,10±0,02	1,11	5,64±0,014	0,33
3	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,42±0,06	0,042	0,12±0,01	1,33	5,13±0,19	0,30
4	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,45±0,07	0,056	0,11±0,01	1,22	5,84±0,10	0,34
5	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	0,48±0,06	0,064	0,14±0,01	1,56	4,75±0,20	0,29
6	N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	0,54±0,06	0,052	0,15±0,01	1,40	5,28±0,20	0,33
7	N ₉₀ K ₆₀	0,56±0,22	0,057	0,18±0,04	1,80	5,37±0,23	0,32
8	N ₉₀ P ₃₀ K ₆₀	0,45±0,17	0,049	0,14±0,02	1,27	4,16±0,21	0,26
9	N ₉₀ P ₉₀ K ₆₀	0,33±0,18	0,040	0,14±0,02	1,40	4,41±0,17	0,28
10	N ₉₀ P ₁₂₀ K ₆₀	0,38±0,14	0,042	0,12±0,02	1,10	3,65±0,19	0,22
11	N ₉₀ P ₆₀	0,39±0,05	0,042	0,14±0,03	1,40	4,04±0,17	0,29
12	N ₉₀ P ₆₀ K ₃₀	0,36±0,04	0,042	0,10±0,01	0,91	5,37±0,22	0,34
13	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	0,44±0,03	0,055	0,13±0,02	1,18	4,93±0,19	0,28
14	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	0,47±0,04	0,055	0,12±0,01	1,20	5,06±0,30	0,33
15	N ₉₀ P ₆₀ K ₁₅₀	0,46±0,02	0,060	0,15±0,01	1,50	4,53±0,25	0,30
16	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + CaCO ₃	0,33±0,03	0,037	0,09±0,01	0,90	3,47±0,29	0,20
СанПиН 2.3.2.1078-01		0,5		0,1		-	

*КН – Коэффициент накопления

Несбалансированное внесение высоких доз азотных и калийных удобрений обуславливает увеличение подвижности ТМ в системе почва-растение. При этом, несмотря на относительно небольшие концентрации Cd в почве, накопление его в зерне яровой пшеницы в этих вариантах превышало нормы СанПиН 2.3.2.1078-01 в 1,1-1,8 раза, а содержание Pb достигало предельно допустимых значений. Повышенные дозы азотных и калийных удобрений не оказывали значимого влияния на накопление меди в зерне яровой и озимой пшеницы. Однако применение фосфорных удобрений в возрастающих дозах и известкование снижало содержание меди в растениях в 1,2-1,7 раза [33] (рисунок 13).

Выявленные закономерности поведения ТМ в полевых исследованиях, вероятно, обуславливаются тем фактом, что длительное применение физиологически кислых азотных и калийных удобрений способствует подкислению почвенного раствора, что приводит к изменению химизма поведения ТМ в почве, их мобилизации и увеличению размеров накопления в растениях. В то же время известь и фосфорные удобрения обогащают почву кальцием и фосфором, что способствуют образованию труднорастворимых соединений ТМ в

почве, снижению их миграционной подвижности и уменьшению накопления в урожае зерновых культур [141] (рисунок 14 – 15).

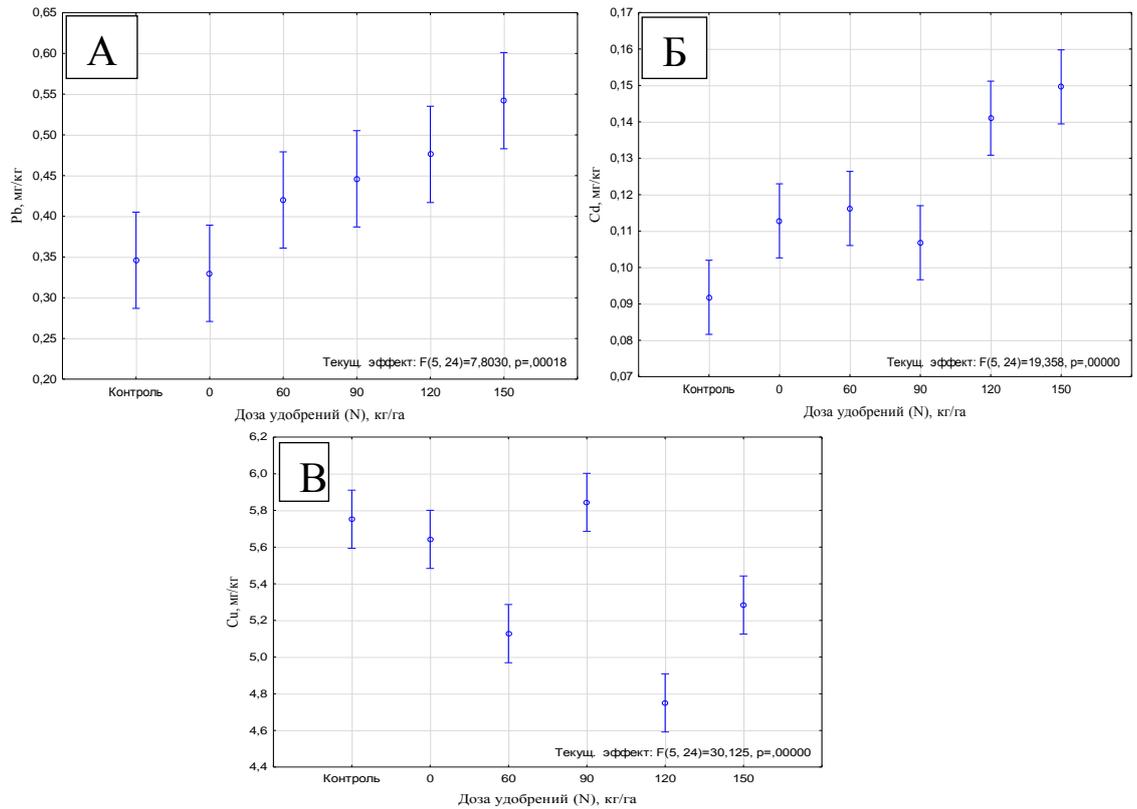


Рисунок 13 – Влияние различных доз азотных удобрений на концентрацию ТМ (А-Pb; Б-Cd; В-Cu) в яровой пшенице (плашка погрешности - ошибка среднего)

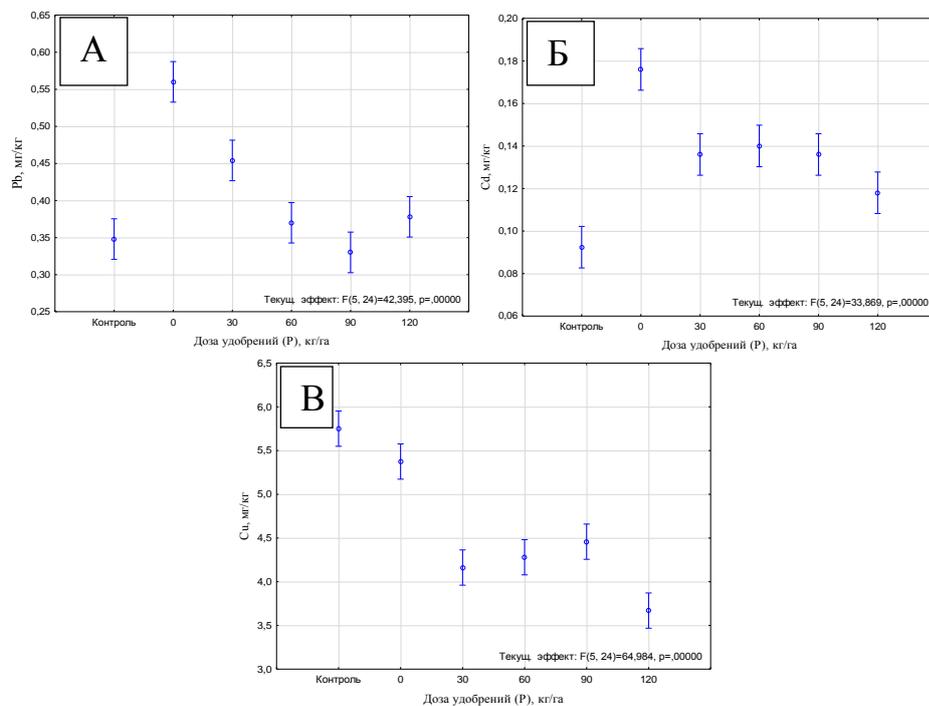


Рисунок 14 – Влияние различных доз фосфорных удобрений на концентрацию ТМ (А-Pb; Б-Cd; В-Cu) в яровой пшенице (плашка погрешности - ошибка среднего)

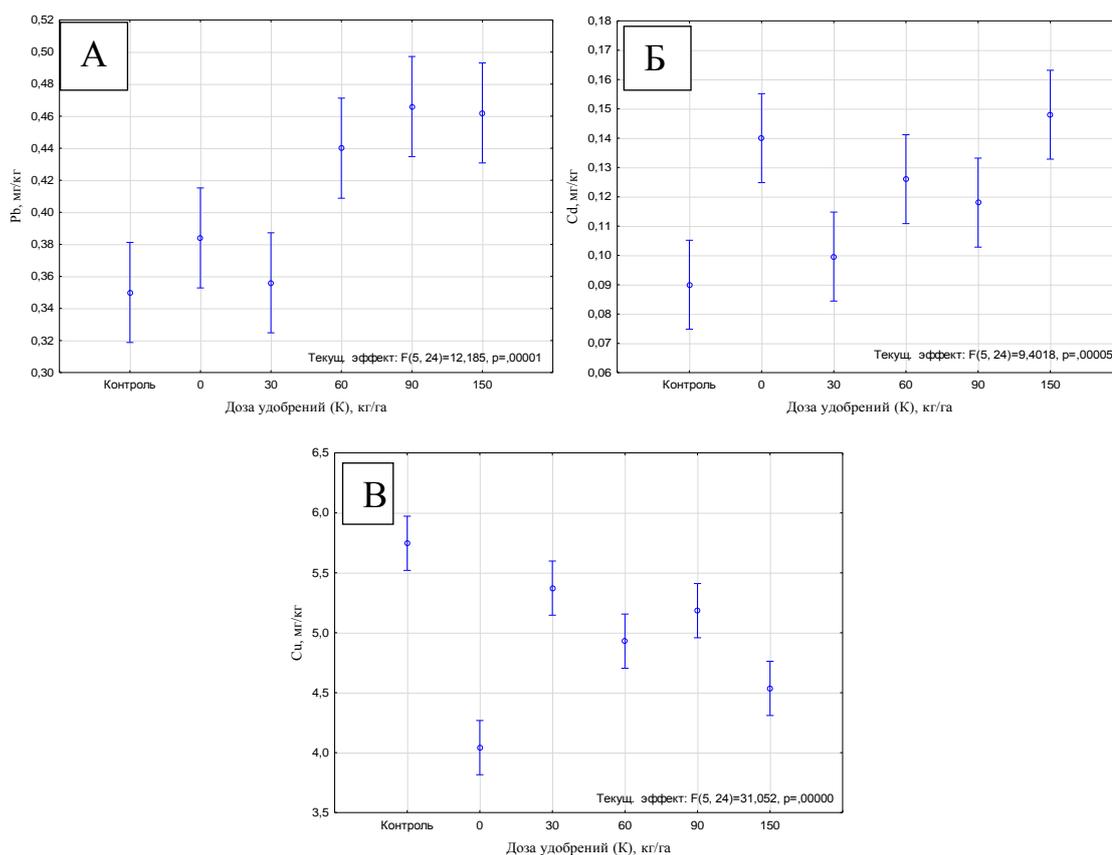


Рисунок 15 – Влияние различных доз калийных удобрений на концентрацию ТМ (А-Pb; Б-Cd; В-Cu) в яровой пшенице (плашка погрешности - ошибка среднего)

Результаты исследований показали, что содержание ТМ в почве опытных участков при внесении минеральных удобрений существенно не отличаются от их концентраций в контрольных вариантах и по своим значениям относятся к 1 группе суглинистых и глинистых почв с рН менее 5,5 при концентрацией ниже или равной 0,5 ПДК (ОДК) [33, 141] (таблица 26). Таблица 26 – Влияние различных доз минеральных удобрений на накопление ТМ в почве [33-34, 82, 141]

№ п.п.	Вариант	Pb, мг/кг	Cd, мг/кг	Cu, мг/кг
1	Контроль	9,7±0,9	0,08±0,01	17,0±1,1
2	P ₆₀ K ₆₀	8,8±0,5	0,09±0,01	17,0±1,5
3	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	10,1±0,7	0,09±0,01	17,3±0,9
4	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	8,0±0,8	0,09±0,02	15,5±1,3
5	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	7,5±0,3	0,09±0,02	16,6±0,5
6	N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	10,3±0,8	0,10±0,01	16,1±1,4
7	N ₉₀ K ₆₀	9,8±1,0	0,10±0,01	16,7±1,1
8	N ₉₀ P ₃₀ K ₆₀	9,2±1,1	0,11±0,03	16,0±0,9
9	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	9,3±1,2	0,09±0,02	16,6±1,3
10	N ₉₀ P ₉₀ K ₆₀	8,3±0,5	0,10±0,01	16,0±0,6
11	N ₉₀ P ₁₂₀ K ₆₀	9,1±1,4	0,11±0,02	16,2±1,3
12	N ₉₀ P ₆₀	7,9±0,4	0,10±0,02	13,8±0,9

13	N ₉₀ P ₆₀ K ₃₀	8,6±0,5	0,11±0,01	16,0±1,3
14	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	8,0±1,0	0,11±0,02	17,5±2,0
15	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	8,6±0,5	0,10±0,03	15,3±0,9
16	N ₉₀ P ₆₀ K ₁₅₀	7,7±0,3	0,10±0,01	14,2±0,5
17	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + CaCO ₃	8,8±0,5	0,10±0,02	17,5±0,3
СанПиН 1.2.3685-21 (ПДК) [82]		-	-	-
СанПиН 1.2.3685-21 (ОДК) [82]		130,0	2,0	132,0

Применение минеральных удобрений способствовало дополнительному внесению за этот период Pb в количестве 26,7-520,7 г/га, Cd – 2-8 г/га и Cu – 82,5 – 255,4 г/га (таблица 27). Вместе с тем, принимая во внимание, что масса пахотного слоя равна примерно 3 млн. кг, то дополнительное увеличение концентрации Pb, Cu и Cd в почве составило в этом случае (без учета выноса урожаем) 0,009 – 0,174, 0,022 – 0,085 и 0,001 – 0,0023 мг/кг, соответственно. Таким образом, при принятой системе удобрений под зерновые культуры для увеличения содержания в почве Cd и As на 0,1 мг/кг необходимо 660 и 250 лет, а на 1 мг/кг Pb, Zn, Co, Ni, Cu - 285, 47, 740, 115, 130 лет, соответственно. [33, 141].

Таблица 27 – Поступление ТМ в почву с минеральными удобрениями в среднем за 20 лет, г/га

№ п.п.	Вариант	As	Pb	Cd	Cu
Отечественные удобрения					
1	Контроль	0	0	0	0
2	P ₆₀ K ₆₀	3,9	69,6	7,61	103,7
3	N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,9	70,3	8,71	223,8
4	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	3,9	70,7	9,31	283,8
5	N ₁₂₀ P ₆₀ K ₆₀	3,9	71,0	9,81	343,9
6	N ₁₅₀ P ₆₀ K ₆₀	3,9	71,4	10,41	404,0
7	N ₉₀ K ₆₀	2,1	24,1	5,7	206,4
8	N ₉₀ P ₃₀ K ₆₀	3,0	47,4	7,5	245,1
9	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	3,9	70,7	9,31	283,8
10	N ₉₀ P ₉₀ K ₆₀	4,8	94,1	11,1	322,5
11	N ₉₀ P ₁₂₀ K ₆₀	5,7	117,3	12,92	361,2
12	N ₉₀ P ₆₀	1,8	47,7	5,31	257,5
13	N ₉₀ P ₆₀ K ₃₀	2,9	59,2	7,31	270,7
14	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀	3,9	70,7	9,31	283,8
15	N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	5,0	82,2	11,31	297,0
16	N ₉₀ P ₆₀ K ₁₅₀	7,1	105,2	15,31	323,3
17	N ₉₀ P ₆₀ K ₆₀ + CaCO ₃	8,4	199,0	22,81	457,1
Китайские удобрения					
18	Комплексные удобрения, вариант 3*	11,9	9,2	1,5	-
Удобрения восточной Европы					
19	Польша, удобрение Доктор Грин «Качество», вариант 2*	11,8	36,8	11,9	-
20	Венгрия, комплексные удобрения, вариант 16*	7,6	153,0	-	17532

Удобрения южной и центральной Европы					
21	Греция, комплексные удобрения, вариант 15*	2,1	105,3	2,1	1526,3
22	Австрия, комплексные удобрения, вариант 3*	-	-	27,5	149,0
23	Голландия, фосфорные удобрения, вариант 2*	-	-	240	-
24	Швеция, фосфорные удобрения, вариант 2*	-	-	120	-
Удобрения США, Канады и Австралии					
25	США, диаммофос, вариант 12*	-	-	397,8	-
26	Австралия, суперфосфат из фосфоритов, вариант 2*	-	-	768,0	-
27	Канада, фосфорные удобрения, вариант 2*	-	-	37,0	-

* вариант сравнения с отечественными удобрениями

Импортные удобрения характеризуются значительным разнообразием по содержанию тяжелых металлов. Замена российских удобрений импортными может способствовать как снижению привноса отдельных видов химических элементов, так и существенному накоплению других элементов в почвах (таблица 27). Так, применение некоторых китайских сложных комплексных удобрений будет содействовать существенному снижению накоплению в почве Pb и Cd, но в тоже время более чем в 3 раза увеличивает содержание As. Аналогичная картина складывается и при использовании польских комплексных удобрений Доктор Грин «Качество». В тоже время применение венгерских минеральных удобрений обуславливает возрастание в 1,5 раза Pb и до 54 раз Cu. Существенным возрастанием в почве Cu (5,1 раза по сравнению с отечественными) характеризуются и греческие минеральные удобрения. Применение шведских и голландских фосфорных удобрений в 15,8-31,5 раза способствует возрастанию Cd в почве. Внесение вместо российских удобрений американского диаммофоса и австралийского суперфосфата до 75 и 100 раз, соответственно, увеличивает накопление Cd в почве сельскохозяйственных угодий.

Таким образом, длительное применение высоких доз минеральных удобрений может способствовать аккумуляции ТМ в почве и последующему их накоплению в продукции растениеводства. В связи с этим Еврокомиссия решила ограничить оборот фосфорных удобрений с высоким содержанием тяжелых металлов (кадмия, мышьяка, свинца, ртути и никеля) на территории Европейского союза. Ограничения будут вводиться поэтапно и к 2026 г. содержание кадмия в 1 кг удобрения не должно быть больше 40 мг.

Из всего выше сказанного следует, что при выборе приемов применения удобрений необходимо учитывать в первую очередь качество минеральных удобрений, а также

агрохимические свойства почвы, индивидуальные особенности накопления ТМ в разных сельскохозяйственных культурах и типах почв.

Обработка представленной выше информации и дисперсионный однофакторный анализ, проводились с использованием методов математической статистики и компьютерной среды (STATISTICA 10.0). С применением метода дисперсионного анализа проведена оценка степени влияния различных комбинаций доз удобрений на содержание ТМ в пшенице (таблица 28 и рисунок 13-15).

Таблица 28 – Результаты однофакторного дисперсионного анализа

Эффект	Степени свободы	Сумма квадратов	Средний квадрат	Критерий Фишера	Уровень значимости	Сила влияния фактора, %
Комбинация азотных удобрений						
Pb						
Свободный член	1	5,46	5,46	1331,49	0,000000	62
Доза удобрений	5	0,16	0,03	7,80	0,0001	
Ошибка	24	0,10	0,004			
Всего	29	0,26				
Cd						
Свободный член	1	0,43	0,43	3537,32	0,000000	79
Доза удобрений	5	0,01	0,002	19,36	0,0001	
Ошибка	24	0,002	0,0001			
Всего	29	0,01				
Cu						
Свободный член	1	874,80	874,80	29625,78	0,000000	86
Доза удобрений	5	4,45	0,89	30,13	0,0001	
Ошибка	24	0,71	0,03			
Всего	29	5,16				
Комбинации фосфорных удобрений						
Pb						
Свободный член	1	4,96	4,96	6734,84	0,000000	91
Доза удобрений	5	0,19	0,03	50,55	0,000000	
Ошибка	24	0,02	0,001			
Всего	29	0,20				
Cd						
Свободный член	1	0,531	0,531	4747,82	0,000000	88
Доза удобрений	5	0,019	0,004	33,87	0,0001	
Ошибка	24	0,003	0,0001			
Всего	29	0,022				
Cu						
Свободный член	1	639,13	639,13	13400,39	0,000000	93
Доза удобрений	5	15,50	3,10	64,98	0,0001	
Ошибка	24	1,14	0,05			
Всего	29	16,64				
Комбинация калийных удобрений						
Pb						
Свободный член	1	5,03	5,03	4403,61	0,000000	72
Доза удобрений	5	0,07	0,01	12,18	0,0001	

Ошибка	24	0,03	0,001			
Всего	29	0,09				
Cd						
Свободный член	1	0,43	0,43	1606,33	0,000000	66
Доза удобрений	5	0,0126	0,0025	9,40	0,0001	
Ошибка	24	0,0064	0,0002			
Всего	29	0,0191				
Cu						
Свободный член	1	740,53	740,53	12358,30	0,000000	87
Доза удобрений	5	9,30	1,86	31,05	0,0001	
Ошибка	24	1,44	0,06			
Всего	29	10,74				

Полученные результаты дисперсионного анализа свидетельствуют о значимом влиянии различных доз удобрений на содержание ТМ в пшенице, определяющем вариацию по азотным, калийным и фосфорным удобрениям от 62 до 93 % (таблица 24).

Таким образом, многолетнее систематическое применение различных доз минеральных удобрений или их полное отсутствие оказывает существенное влияние на баланс элементов питания в почве и агрохимические показатели выщелоченного чернозема. Наибольший отрицательный баланс элементов питания в почве наблюдался в контрольных вариантах без внесения удобрений и при применении несбалансированных по элементам питания минеральных удобрений, что приводило к ухудшению свойств почв и снижению в 1,3-1,7 раза урожайности зерновых культур.

Несбалансированное применение высоких доз азотных и калийных удобрений обуславливает увеличение подвижности ТМ в системе почва-растение. При этом, несмотря на относительно невысокие концентрации Cd в почве, накопление его в зерне яровой пшеницы в этих вариантах превышало нормы [82] в 1,1-1,8 раза, а содержание Pb достигало предельно допустимых значений. В тоже время фосфорные удобрения в возрастающих дозах и известкование снижали содержание Cu в растениях в 1,2-1,7 раза. Максимальным накоплением в урожае зерновых культур характеризуется кадмий, наименьшим свинец.

Следует отметить, что полученные результаты находятся в хорошем соответствии с многолетними исследованиями Е.А. Карповой, В.Г. Минеева [153] в которых установлено достоверное накопление целого ряда ТМ в пахотном слое дерново-подзолистых почв при длительном с 1933 г. применении разных форм минеральных удобрений. При этом авторы отмечают, что применение балластных удобрений может приводить к возрастанию концентрации Ni и Cr в кормовых культурах до уровня ВМДУ и выше даже на почвах с относительно низким содержанием ТМ. В связи с чем авторы отмечают необходимость постоянного мониторинга безопасности продукции культур с индикаторным типом накопления ТМ на почвах с высоким валовым содержанием ТМ. На почвах со средним уровнем

обеспеченности почв подвижным фосфором при несбалансированном питании растений рекомендован обязательный контроль кадмия в урожае зерновых культур.

По результатам исследований 3 главы опубликованы работы:

1. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Гешель И.В., Панов А.В., Микаилова Р.А., Саруханов А.В. Поступление тяжелых металлов в почву с минеральными удобрениями // Актуальные проблемы почвоведения и земледелия. Сборник докладов международной научно-практической конференции. Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева». Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ. – 2019. – С. 91-94.
2. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К. Накопления Pb и Cd в урожае зерновых и пропашных культур при различных системах удобрений на черноземных почвах // 23-я международная Пушкинская школа-конференция молодых ученых «Биология- наука 21 века». Пушкино: – 2019. – С. 74.
3. Санжарова Н.И. Тяжелые металлы в агроценозах: миграция, действие, нормирование / Н.И. Санжарова, П.Н. Цыгвинцев, В.С. Анисимов, С.А. Гераськин, В.К. Кузнецов, Н.Н. Лой, Е.П. Пименов, А.В. Панов, А.Н. Ратников, А.И. Санжаров, Л.И. Гончарова, Д.Г. Свириденко, С.П. Арышева, Л.Н. Анисимова, А.В. Дикарев, Г.И. Попова, Т.В. Переволодская, А.А. Суслов, Л.М. Фригидова, Д.В. Васильев, Д.Н. Курбаков, С.И. Спиридонов. под ред. Н.И. Санжарова, П.Н. Цыгвинцева. - Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ. – 2019. – 398 с.
4. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Панов А.В. Влияние длительного применения минеральных удобрений на поступление тяжелых металлов в урожай сельскохозяйственных культур // Международная научная конференция «Плодородие почв России. Состояние территорий и прогнозы». М.: – 2019. – С. 169-173.
5. Курбаков Д.Н., Панов А.В., Кузнецов В.К., Андреева Н.В. Влияние агрохимических мероприятий на накопление тяжелых металлов в урожае зерновых культур // XV Всероссийская научно-практическая конференция. Проблемы устойчивого развития и эколого-экономической безопасности регионов. Волжский: – 2020. – С. 9-12.
6. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Андреева Н.В., Сидорова Е.В., Кречетникова Е.О., Саруханов А.В. Содержание тяжелых металлов в зерновых культурах при длительном применении минеральных удобрений // Техногенные системы и экологический риск: Тезисы докладов IV Международной (XVII Региональной) научной конференции. Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ. – 2021. – С. 163-164.
7. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Хлопюк М.С., Сидорова Е.В. Накопление тяжелых металлов в урожае зерновых культур при длительном применении минеральных удобрений // Агрохимия. – 2022. – № 3. – С. 74-80.

ГЛАВА 4. ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ И НАКОПЛЕНИЯ ТМ В КОМПОНЕНТАХ АГРОЭКОСИСТЕМ В ЗОНАХ ВОЗДЕЙСТВИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ

4.1. Содержание тяжелых металлов в снежном покрове зон воздействия предприятий черной металлургии

В период бурного развития промышленности нельзя не учитывать тот факт, что атмосферный воздух в районе функционирования крупных промышленных агломераций содержит очень большое количество загрязняющих веществ. При этом загрязнение распространяется на значительные расстояния от факела выброса в зависимости от направления ветра. В зимний период времени снежный покров является лучшим индикатором атмосферных выпадений и позволяет оценить степень загрязнения компонентов окружающей среды. Исследованиями снежного покрова в районе работы предприятий металлургического производства нами зафиксированы уровни загрязнения атмосферного воздуха на прилегающих территориях и проведена сравнительная оценка влияния технологических особенностей производства стали на территории РФ (доменное производства (ПАО «НЛМК» и с использованием электродуговых сталеплавильных печей ООО «НЛМК-Калуга»).

Концентрация примесей в снеге отражает их содержание в атмосфере и указывает на источник и механизм образования аэрозолей вблизи места отбора проб. Снежный покров не активен ни в химическом, ни в биологическом отношении, в нем не происходит химических трансформаций веществ, следовательно, он является индикатором предшествовавшего загрязнения атмосферы и будущего загрязнения почвы и гидросферы [26]. Методология отбора описана в разделе 2.2.1.

Следует отметить, что группа компаний НЛМК начала свое существование в ноябре 1934 года на территории г. Липецк (ПАО «НЛМК») и функционирует 90 лет, соответственно воздействие оказываемое на окружающую среду за это время может оказаться более существенным. ООО «НЛМК-Калуга» функционирует 11 лет с июля 2013 года.

4.1.1. Содержание тяжелых металлов в снежном покрове района расположения электрометаллургического завода ООО «НЛМК-Калуга» с. Ворсино

В результате проведенных исследований выявлено 9 химических поллютантов (Fe, Cr, Zn, Mn, Ni, Co, Pb, Cu, Cd), накопление которых в снежном покрове обследуемой территории превышает фоновые показатели (таблица 29). Данный набор элементов характерен для производства черных металлов с изготовлением легированной стали. При этом в растворимом виде содержание ТМ представлено в микроконцентрациях, а основное количество содержится в форме труднорастворимых соединений, которые могут быть потенциально опасными для

живых организмов и доступными для растений в результате изменения кислотности почвенных растворов или воздействия микроорганизмов [122].

Таблица 29 – Химический состав твердой и жидкой фракций снежного покрова зоны воздействия ООО «НЛМК-Калуга», мг/кг [122]

№	Направление и расстояние, км		Содержание тяжелых металлов в фильтрате снежного покрова, мг/кг								
			Cd	Co	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Mn	Fe
1	Ю-3	22,8	1,44*	4,62	18,8	232,8	35,3	16,87	22,2	637,7	9218
			0,0003**	0,0006	0,0016	0,0017	0,0007	0,0010	0,0012	0,0013	0,0195
2	Ю-В	15,8	3,9	6,1	58,1	593,4	68,1	29,9	36,7	537,5	9163
			0,0003	0,0007	0,0024	0,0016	0,0021	0,0017	0,0023	0,0020	0,0265
3	В	16,5	3,66	8,41	58,3	560,1	67,8	30,9	34,5	496	9729
			0,0001	0,0006	0,0022	0,0018	0,0021	0,0028	0,0028	0,0013	0,0213
4	Ю	3,0	2,88	5,56	47,8	747	120	20,3	101,9	1397	19163
			0,0003	0,0011	0,0030	0,0072	0,0086	0,0023	0,0028	0,0051	0,0349
5	В	3,5	2,4	2,8	56,0	728	153,8	31,4	162,6	1504	20100
			0,0005	0,0008	0,0044	0,0052	0,0017	0,0012	0,0018	0,0040	0,0470
6	С	1,2	5,95	7,43	120,1	664,1	222,1	41,0	178,3	1635	55066
			0,0002	0,0017	0,0044	0,0204	0,0035	0,0029	0,0035	0,0115	0,0572
7	С-В	9,8	4,9	7,36	60,8	638,9	71,2	33,4	41,3	615,5	17567
			0,0005	0,0009	0,0017	0,0040	0,0028	0,0022	0,0022	0,0031	0,0279
8	Ю-3	5,8	2,24	5,19	52,1	762	156	42,3	113,7	1342,5	25100
			0,0002	0,0010	0,0017	0,0060	0,0032	0,0011	0,0021	0,0024	0,0212
9	С-3	9,8	3,11	8,4	83,5	694,2	124,2	42,7	77,1	488,3	11012
			0,0005	0,0010	0,0007	0,0062	0,0028	0,0013	0,0021	0,0020	0,0256
10	3	1,6	5,6	8,6	110,3	1103	109,5	62,3	146,3	1604	36888
			0,0002	0,0012	0,0027	0,0041	0,0058	0,0017	0,0020	0,0081	0,0487
Приказ № 552 от 2016			0,005	0,01	0,001	0,01	0,006	0,01	0,02	0,01	0,1

* - твердая фракция; ** - жидкая фракция

Какой-либо четкой закономерности в распределении концентраций водорастворимой фракции ТМ относительно места отбора не наблюдается. Однако прослеживается тенденция более высоких уровней содержания ТМ в жидкой фракции снежного покрова ближней зоны воздействия ООО «НЛМК-Калуга» [122].

По результатам исследования был рассчитан коэффициент техногенной концентрации ТМ в снежном покрове (таблица 30). Данный показатель указывает, что пыль и другие формы ТМ являются существенным источником загрязнения снежного покрова по сравнению с фоном.

Следует отметить, что ТМ имеют различную мобильность и из факела выброса промышленных предприятий распространяются на разные расстояния. При распределении ТМ по фракциям аэрозолей соблюдается следующая закономерность: петрогенные элементы и элементы с относительно высокими кларками (Fe, Al, Si, Mn, Cu, Zn, Cr) связаны преимущественно с мелко- и крупнодисперсными аэрозолями (0,5-2,0 мкм и более), а более токсичные элементы с низкими кларками (Cd, Pb, Sb, As, Hg) находятся в субмикронной или

газовой фазах [13]. Мельчайшие фракции аэрозоля имеют низкие скорости осаждения и высокую миграционную способность, что приводит к их более дальнему трансграничному распространению [122].

Таблица 30 – Коэффициенты техногенной концентрации ТМ в снежном покрове относительно фона зоны воздействия «НЛМК-Калуга» [122]

№ площадки	Cd	Co	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Mn	Fe
1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
2	2,71	1,33	3,09	2,55	1,93	1,77	1,65	0,84	0,99
3	2,54	1,82	3,10	2,41	1,92	1,83	1,55	0,78	1,06
4	2,00	1,20	2,54	3,21	3,40	1,20	4,59	2,19	2,08
5	1,67	0,61	2,99	3,12	4,36	1,86	7,32	2,36	2,18
6	4,13	1,61	6,38	2,85	6,29	2,43	8,03	2,58	5,97
7	3,40	1,59	3,23	2,74	2,02	2,00	1,86	0,97	1,90
8	1,56	1,12	2,77	3,27	4,42	2,51	5,12	2,10	2,72
9	2,16	1,82	4,44	2,98	3,52	2,52	3,47	0,76	1,19
10	3,89	1,86	5,87	4,74	3,10	3,69	6,59	2,52	4,00
ср. знач.	2,67	1,44	3,82	3,10	3,44	2,20	4,46	1,68	2,45

По результатам исследований 30-км зоны ООО «НЛМК-Калуга» наблюдалось неравномерное распределение в снежном покрове нерастворимой фракции металлов, поступивших в атмосферу из источника загрязнения, что может определяться расстоянием от факела выброса, погодными условиями (сила и направление ветров), рельефом местности, технологическими факторами и др. При этом максимальные концентрации ТМ выявлены на расстоянии 1000-3000 м от электрометаллургического комбината, что подтверждает расчеты М.Е. Берлянда [209], согласно которым значительная концентрация выбросов создается в приземном слое атмосферы на расстоянии 10–40 высот трубы. При этом основная часть выпадений происходит в ближней 3,5 км зоне, максимальные концентрации наблюдались в преобладающем по розе ветров северном направлении на расстоянии 1,2 км (таблица 30). С увеличением расстояния пылевая нагрузка снижается (рисунок 16). Наименьшим загрязнением снежного покрова характеризуется фоновая площадка (№ 1), расположенная в южном направлении на расстоянии 23 км от источника загрязнения [122].

Распространение пыли и величина пылевой нагрузки представлена на рисунке 17. Из графика видно, что основная часть выпадений происходит в ближней зоне до 3,5 км. С увеличением расстояния нагрузка снижается.

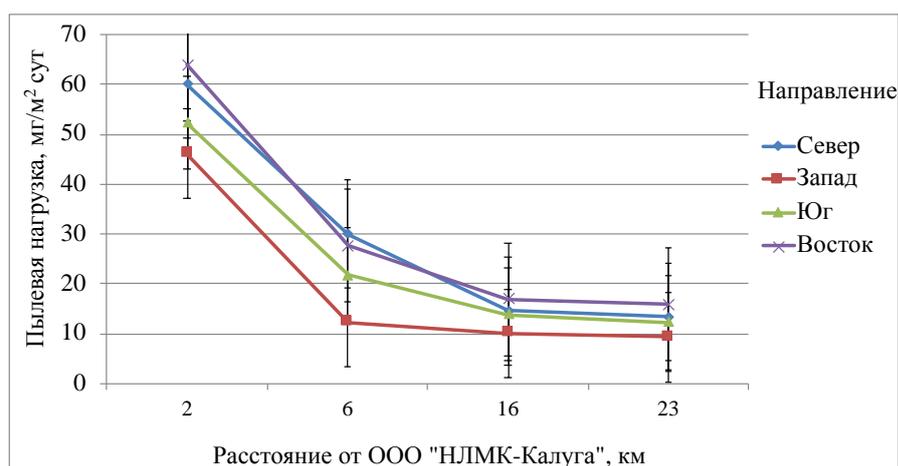


Рисунок 16 – Пылевая нагрузка (P_n) на снежный покров в зависимости от расстояния и направления от ООО «НЛМК-Калуга» (до 250 мг/м^2 – нагрузка низкая) (плашка погрешности - ошибка среднего)

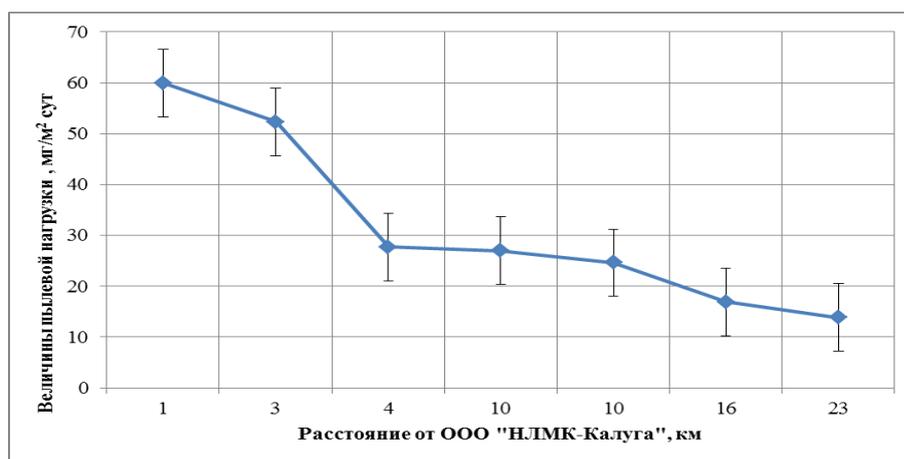


Рисунок 17 – Изменение пылевой нагрузки с увеличением расстояния от ООО «НЛМК-Калуга»

В зависимости от расстояния вокруг ООО «НЛМК-Калуга» можно выделить зоны воздействия на окружающую среду, в которых среднее превышение содержания ТМ относительно фона варьирует в значительной степени. Зона I (1-3 км) – превышение содержания ТМ над фоном до 8 раз, зона II (3-6 км) – превышение до 2,6 раз и зона III (6-10 км) – превышение до 1,5 раз, далее следует участок который можно отнести к фоновому [122].

Оценка уровня химического загрязнения снежного покрова проводится по показателям, разработанным при сопряжённых геохимических и гигиенических исследованиях окружающей среды. К таким критериям относятся суммарный показатель загрязнения Z_c , который определяется степенью накопления загрязнителей по сравнению с фоновым уровнем. Проведенные расчеты показали, что на всех площадках отбора суммарное загрязнение пылевой фракцией снега находится в диапазоне низких значений (таблица 31) [122].

Таблица 31 – Загрязнение пылевой фракцией снежного покрова сельскохозяйственных угодий в зоне воздействия ООО «НЛМК-Калуга»

	Тяжелый металл, мг/кг		Kc=C/Cф	Zc
	Обследуемые участки	Фоновый участок		
Cd	3,84* (2,4-6,0)	1,44	2,67* (1,56-4,13)	8,8-32,2 17,2*
Co	6,6 (2,8-8,6)	4,62	1,44 (0,61-1,86)	
Cu	71,9 (47,8-120,1)	18,8	3,82 (2,54-6,38)	
Zn	721,2 (560,1-1103,0)	232,8	3,10 (2,41-4,74)	
Pb	99,2 (67,8-221,1)	35,3	3,44 (1,92-6,29)	
Ni	37,1 (20,3-62,3)	16,87	2,20 (1,20-3,69)	
Cr	99,2 (34,5-162,6)	22,2	4,46 (1,55-8,03)	
Mn	1068,9 (488,3-1604,0)	637,7	1,68 (0,78-2,58)	
Fe	22643 (9163-55066)	9218	2,45 (1,00-5,97)	
Суммарный показатель загрязнения снежного покрова (Zc)			Низкий	32-64
			Средний	64-128
			Высокий	128-256
			Очень высокий	256

* - среднее значение

С учетом величины пылевой нагрузки, проводился расчет среднесуточного притока ТМ с пылевыми взвешенными частицами в атмосферном воздухе на снежный покров, который в большинстве случаев, за исключением площадок № 6 и 10 (средний уровень притока) является низким. Площадки № 6 и № 10 располагаются на расстоянии до 2 км от факела выброса, что может являться основной причиной техногенной нагрузки на данную территорию.

Так же стоит отметить, что снег в результате таяния попадает в водоемы и вовлекается в дальнейшем в круговорот воды. Для оценки качества талых вод в настоящее время не разработан ПДК элементного состава, в связи с чем ориентировались на ПДК питьевой воды. Установленные значения катионного и анионного состава талых вод в районе электрометаллургического завода на порядок ниже нормированных уровней для питьевой воды (таблица 32) [82, 122].

Таблица 32 – Катионный и анионный состав талых вод снежного покрова в зоне воздействия ООО «НЛМК-Калуга», мг/дм³ [122]

№	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	NH ₄ ⁺	Cl ⁻
1	1,9±0,6	0,3±0,1	2,4±0,1	0,20±0,01	4,3±0,9	0,29±0,10	0,012±0,002	7,1±1,1
2	2,0±0,1	0,3±0,1	1,0±0,1	0,18±0,02	6,7±1,3	3,36±0,74	0,030±0,006	5,3±0,9
3	2,2±0,4	0,3±0,1	0,9±0,1	0,15±0,01	9,5±1,9	7,25±1,59	0,015±0,003	5,3±0,9
4	0,6±0,1	0,1±0,0	0,3±0,0	0,14±0,01	7,8±1,6	0,4±0,14	0,001±0,0001	1,8±0,3
5	2,9±0,1	0,2±0,0	0,2±0,0	0,14±0,02	6,7±1,3	6,15±1,35	0,033±0,007	3,5±0,6
6	4,7±0,7	0,5±0,0	0,7±0,0	0,21±0,03	5,4±1,1	13,43±2,96	0,006±0,001	7,1±1,1
7	1,5±0,2	0,2±0,0	2,1±0,1	0,25±0,01	6,7±1,3	5,1±1,12	0,052±0,010	7,1±1,1
8	1,9±0,1	0,3±0,0	0,9±0,0	0,18±0,01	5,2±1,0	4,91±1,08	0,006±0,001	3,5±0,6
9	5,2±1,0	2,1±0,6	0,1±0,0	0,35±0,12	5,2±1,0	2,09±0,63	0,023±0,005	1,8±0,3
10	3,5±0,5	0,3±0,0	0,9±0,0	0,14±0,02	6,5±1,2	9,37±1,52	0,016±0,002	5,5±0,8
СанПиН 1.2.3685-21	100	50,0	200	12	500	45,0	2,0	350
Приказ № 552 от 2016	180	40	120	50	100	40	0,5	300

4.1.2. Содержание тяжелых металлов в снежном покрове ПАО «НЛМК» г. Липецк

Исследования снежного покрова показали, что содержание водорастворимой фракции ТМ в снежном покрове зоны воздействия ПАО «НЛМК» г. Липецк, находится в микроконцентрациях, однако в ближней 4-6 км зоне их содержание в 2-10 раз выше по сравнению с фоном, что говорит о слабой растворимости твердой фракции выпадений, с одной стороны, и повышенной техногенной нагрузке на снежный покров ближней зоны, - с другой [118] (таблица 33).

Таблица 33 – Состав твердого осадка снежного покрова зоны воздействия ПАО «НЛМК» г. Липецк, мг/кг [118]

№	Направление и расстояние, км		Содержание тяжелых металлов в фильтрате снежного покрова, мг/кг (мг/л)								
			Cd	Co	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Mn	Fe
1	С-В	4,0	13,6*	5,68	70,6	3084	255,3	91,9	384,2	2519	150180
			0,0006**	0,0018	0,0052	0,0896	0,0353	0,0053	0,0035	0,0184	0,072
2	В	13,5	10,9	4,18	43,7	1219	138,9	21,9	58,3	1712	66875
			0,0003	0,0004	0,0024	0,0185	0,0139	0,0030	0,0020	0,0051	0,039
3	В	19,0	9,87	2,89	26,7	993	120,3	17,94	39,4	1326	35969
			0,0003	0,0005	0,0026	0,0114	0,0095	0,0012	0,0022	0,0028	0,022
4	С-В	5,7	13,2	5,31	39,9	955,5	122	65	150,1	3550	118326
			0,0006	0,0010	0,0030	0,0623	0,0110	0,0049	0,0043	0,0231	0,068
5	Ю-В	20,0	3,35	2,64	16,2	486,1	45,3	20,1	45,1	1284	31008
			0,0005	0,0007	0,0012	0,0083	0,0071	0,0006	0,0012	0,0048	0,022
6	Ю	12,0	8,15	3,71	17,4	544,5	80,2	24,4	63,8	1896	41205
			0,0001	0,0004	0,0016	0,0128	0,0024	0,0007	0,0008	0,0023	0,018
7	Ю-З	4,5	9,74	5,62	26,81	1506,7	89,5	75,85	153,7	2364	123824
			0,0006	0,0014	0,0039	0,0289	0,0273	0,0044	0,0047	0,0113	0,042
8	С-В	13,5	4,44	3,01	14,6	565,8	72,1	23,1	18,01	1446	37053
			0,0003	0,0004	0,0015	0,0151	0,0030	0,0004	0,0011	0,0055	0,026
9	С-З	14,5	5,94	4,63	22,7	543	71,1	26,1	22,9	1457	33740
			0,0003	0,0006	0,0010	0,0141	0,0030	0,0008	0,0015	0,0045	0,025
10	З	12,0	9,88	5,73	37,7	562	73,1	23,7	23,9	1432	31238
			0,0003	0,0004	0,0019	0,0139	0,0034	0,0005	0,0015	0,0034	0,017
11	С-З	33,5	1,74	1,34	6,8	206,7	15,3	11,63	25,1	435	10090
			0,0003	0,0004	0,0012	0,0103	0,0036	0,0005	0,0012	0,0039	0,019
Приказ № 552 от 2016			0,005	0,01	0,001	0,01	0,006	0,01	0,02	0,01	0,1

* - твердая фракция; ** - жидкая фракция

По результатам обследования 30-км зоны воздействия ПАО «НЛМК» ТМ по степени превышения их концентраций в снежном покрове ближней зоны над фоном можно выстроить последовательность: Pb > Fe > Cr > Zn > Cu > Ni > Co > Cd > Mn [118].

Наибольшую пылевую нагрузку имеют участки, располагающиеся в восточном направлении, что объясняется преобладающим воздушным переносом с учетом розы ветров в данном регионе (рисунок 18). При этом основная часть выпадений происходит в ближней зоне (4-6 км), где наблюдается высокая степень пылевой нагрузки. С увеличением расстояния от

источника загрязнения до 10-12 км пылевая нагрузка переходит в среднюю и далее на расстоянии 23 км фиксируется низкая степень пылевой нагрузки, близкая к фону [118].

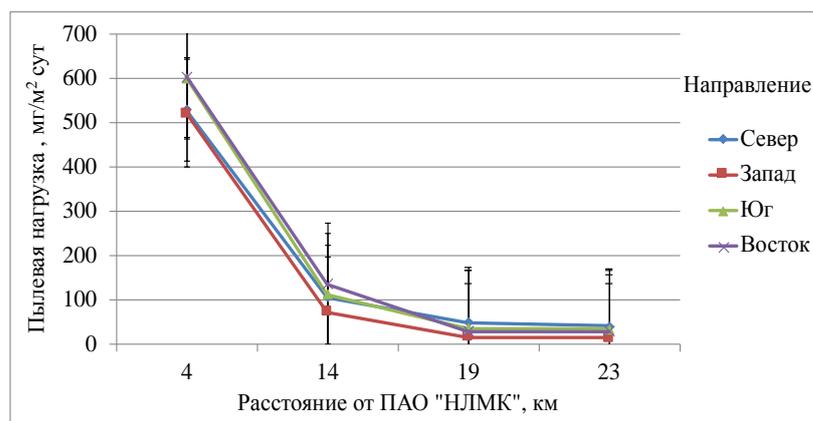


Рисунок 18 – Пылевая нагрузка (P_n) на снежный покров в зависимости от расстояния и направления от ПАО «НЛМК-Липецк», ($100-250 \text{ мг/м}^2$ –нагрузка низкая, $250-450$ – средняя, $450-850$ - высокая) (плашка погрешности - ошибка среднего)

Распространение пылевой нагрузки в пространстве представлено на рисунке 4.5. Из графика видно, что основная часть выпадений происходит в ближней зоне до 11 км. С увеличением расстояния пылевая нагрузка снижается (рисунок 19).

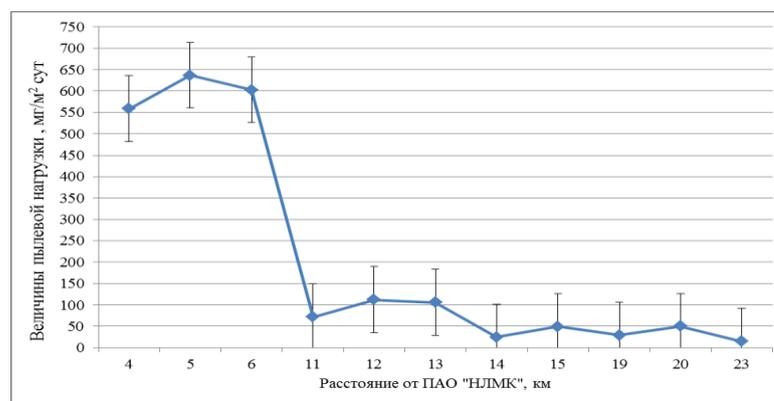


Рисунок 19 – Влияние расстояния на величину пылевой нагрузки в районе расположения ПАО «НЛМК-Липецк»

По результатам полевых работ наблюдалось неравномерное распределение в ландшафте металлов, поступивших в атмосферу из техногенных источников, что может определяться расстоянием от источника загрязнения, метеорологическими условиями (сила и направление ветров), рельефом местности, технологическими факторами (используемые технологии, размер фракции, высота труб предприятий и т.д.) [118, 122].

Проведенные исследования подтверждают расчеты М.Е. Берлянда [126] и максимальные концентрации поллютантов обнаружены на расстоянии 4-7 км.

В условиях полиэлементного состава загрязнения в твердом осадке снега для выявления более чистых областей наблюдения использовали коэффициенты техногенной концентрации (Кс) по сравнению с фоном (в данном исследовании пост № 11, являющийся участком подвергшимся воздействию в минимальной степени), которые в зависимости от вида металла, расстояния и направления от источников загрязнения варьируют в широких пределах [118, 122] (таблица 34).

Таблица 34 – Коэффициенты техногенной концентрации ТМ в снежном покрове относительно фона, ПАО «НЛМК» г. Липецк

№ пробы	Cd	Co	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Mn	Fe	Zc
1	7,82	4,24	10,38	14,90	16,69	7,90	15,31	5,79	14,88	96,91
2	6,26	3,12	6,43	5,90	9,08	1,88	2,32	3,94	6,60	45,53
3	5,67	2,16	3,93	4,80	7,86	1,54	1,57	3,05	3,56	33,14
4	7,59	3,96	5,87	4,62	7,97	5,59	5,98	8,16	11,72	60,46
5	1,93	1,97	2,38	2,35	2,96	1,73	1,80	2,95	3,07	20,14
6	4,68	2,77	2,56	2,63	5,24	2,10	2,54	4,36	4,08	29,96
7	5,60	4,19	3,94	7,29	5,85	6,52	6,12	5,43	12,27	56,21
8	2,55	2,25	2,15	2,74	4,71	1,99	0,72	3,32	3,67	23,10
9	3,41	3,46	3,34	2,63	4,65	2,24	0,91	3,35	3,34	26,73
10	5,68	4,28	5,54	2,72	4,78	2,04	0,95	3,29	3,10	31,38
Ср.	5,12	3,24	4,65	5,06	6,98	3,35	3,82	4,36	6,63	42,35

Следует отметить, что присутствие железа в твердой фракции снежного покрова (превышение фона от 3 до 15 раз) обусловлено тем, что этот элемент является основным компонентом производимых стали и чугуна.

Появление цинка (превышение фона от 3 до 15 раз) и хрома (превышение фона от 1 до 15 раз) в выбросах ПАО «НЛМК», вероятно, обусловлено технологическими процессами при производстве различных марок стали и использовании этих элементов в качестве присадок. Температура кипения цинка составляет 906 °С, при температуре плавления железа 1538 °С.

Никель (превышение фона от 2 до 8 раз) с металлами образует многочисленные сплавы, из которых наибольший интерес представляют сплавы с железом, кобальтом, медью, цинком, хромом и молибденом (эти металлы так же присутствуют в выбросах ПАО «НЛМК»). В настоящее время известно более 3000 сплавов, содержащих никель. Присутствие никеля в сплавах придает им разнообразные ценные свойства, удовлетворяющие самым высоким требованиям современной техники: жаропрочность, кислотостойкость, вязкость, улучшенные магнитные свойства, красивый внешний вид и др. Важную роль никель играет в получении конструкционных, нержавеющих и жаропрочных сталей. В последние годы большое значение приобрели жаропрочные литые сплавы на никелевой основе, используемые во многих областях техники. Так же появление Ni и Cr в выбросах ПАО «НЛМК» может быть связано с

никелированием и хромированием изделий в качестве способа «облагородить», придать защитные свойства изделию.

Кобальт (превышение фона от 2 до 4 раз) в основном используется для получения высококачественных сплавов, которые отличаются повышенной жаропрочностью, твердость – поэтому такие сплавы идут на изготовление сверл, резцов. Магнитные кобальтовые сплавы широко применяются в трансформаторах, для сердечников электромоторов, многих электротехнических устройствах.

Основным спутником никеля в сульфидных рудах является медь, содержащаяся главным образом в халькопирите (CuFeS_2). Из-за высокого содержания меди эти руды называют медноникелевыми. Таким образом, сульфидные медно-никелевые руды являются полиметаллическим сырьем очень сложного химического состава. При их металлургической переработке в настоящее время извлекают 14 ценных компонентов.

Превышение содержания меди над фоном наблюдалось от 2 до 10 раз, что, вероятно, связано с работой доменных печей, переработкой и обогащением руды. Так же наблюдались превышения фоновых значений кадмия от 2 до 8 раз и свинца от 3 до 16 раз [118].

Для определения степени полиэлементного загрязнения снежного покрова использовали суммарный показатель загрязнения (Z_c), в соответствии с которым уровни суммарного загрязнения ТМ составляют средние значения в ближней зоне воздействия (4-6 км) и характеризуются низкими значениями на остальной обследуемой территории (таблица 35) [122].

Таблица 35 – Загрязнение пылевой фракцией снежного покрова в зоне воздействия ПАО «НЛМК» [122]

ТМ	Тяжелый металл, мг/кг		$K_c=C/C_f$	Z_c
	Обследуемый участок	Фоновый участок		
Cd	8,4* (3,4-13,6)	1,74	5,19* (1,93-7,82)	<u>20,1-96,9</u> 42,4*
Co	4,3 (1,3-5,7)	1,34	3,24 (1,97-4,28)	
Cu	31,6 (16,2-70,6)	6,8	4,65 (2,15-10,38)	
Zn	1046 (486,0-3084,0)	206,7	5,06 (2,35-14,90)	
Pb	106,7 (45,3-255,3)	15,3	6,98 (2,96-16,69)	
Ni	39,0 (21,9-91,9)	11,63	3,35 (1,54-7,90)	
Cr	95,9 (18,0-384,2)	25,1	3,82 (0,72-15,31)	
Mn	1898,6 (1284,0-3550,0)	835,0	4,36 (2,95-5,79)	
Fe	66942 (31238-150180)	10090,0	6,63 (3,07-14,88)	
Суммарный показатель загрязнения снежного покрова (Z_c)			Низкий	32-64
			Средний	64-128
			Высокий	128-256
			Очень высокий	256

* - среднее значение

Вместе с тем ближняя зона воздействия характеризуется высоким уровнем притока ТМ

(таблица 36). Во всей остальной зоне обследования, кроме фоновых территорий, наблюдается средний уровень притока ТМ (преимущественно железа), что говорит о достаточно высокой степени техногенной нагрузки на снежный и почвенный покров [118].

Таблица 36 – Приток ТМ с пылевыми взвешенными частицами в зоне воздействия ПАО «НЛМК», мг/(км² сут) [118]

№	Cd	Co	Cu	Zn	Pb	Ni	Cr	Mn	Fe	Уровень притока
1	7,6	3,2	39,4	1722,3	142,6	51,3	215	1407	83870	высокий
2	0,3	0,1	1,1	30,0	3,4	0,5	1,4	42	1646	средний
3	0,3	0,1	0,8	29,0	3,5	0,5	1,2	39	1051	средний
4	8,0	3,2	24,1	576,2	73,6	39,2	91	2141	71360	высокий
5	0,1	0,1	0,7	21,7	2,0	0,9	2,0	57	1383	средний
6	0,9	0,4	2,0	61,2	9,0	2,7	7,2	213	4628	средний
7	6,2	3,6	17,1	959,7	57,0	48,3	98	1506	78866	высокий
8	0,5	0,3	1,5	60,1	7,7	2,5	1,9	154	3933	средний
9	0,3	0,2	1,1	26,7	3,5	1,3	1,1	72	1661	средний
10	0,7	0,4	2,7	40,6	5,3	1,7	1,7	104	2259	средний
11	0,1	0,0	0,1	4,5	0,2	0,2	0,4	12	179	низкий

Проведены исследования по определению катионного и анионного состав талых вод снежного покрова (таблица 37). Установлено, что полученные значения, не превышают ПДК для питьевой воды [49]. В тоже время для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение согласно Приказу Минсельхоза РФ № 552 от 2016 в зоне воздействия ПАО «НЛМК», в ряде случаев фиксируются превышения по NO₂⁻, NH₄⁺ до 3 раз, Cu до 5 раз, Zn до 9 раз.

Таблица 37 – Катионный и анионный состав жидкой фракции снега в зоне воздействия ПАО «НЛМК», мг/дм³

№	Ca ²⁺	Mg ²⁺	Na ⁺	K ⁺	SO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	Cl ⁻
1	19,7±0,3	1,5±0,1	0,6±0,1	0,4±0,0	6,9±1,4	16,6±3,6	0,07±0,01	0,15±0,05	8,9±1,4
2	4,5±0,1	1,5±0,2	0,6±0,0	0,2±0,0	5,6±1,1	3,5±0,8	0,02±0,00	0,06±0,02	1,8±0,3
3	2,2±0,0	0,3±0,1	0,4±0,0	0,2±0,0	4,9±1,0	1,4±0,4	0,02±0,00	0,3±0,11	1,8±0,3
4	21,0±0,2	0,3±0,1	1,8±0,0	1,2±0,1	16,7±3,3	5,3±1,2	0,02±0,00	0,07±0,03	3,5±0,6
5	4,9±0,0	0,7±0,0	1,0±0,0	0,2±0,0	5,2±1,0	2,3±0,7	0,01±0,00	0,32±0,11	2,3±0,4
6	6,9±0,1	0,9±0,0	0,7±0,0	0,3±0,0	7,1±1,4	2,1±0,6	0	0,08±0,03	0,9±0,1
7	17,1±0,1	2,5±0,0	1,3±0,0	0,6±0,0	10,6±2,1	2,0±0,6	0,38±0,05	0,05±0,02	3,4±0,5
8	9,6±0,1	0,7±0,1	1,1±0,1	0,3±0,0	10,8±2,2	3,2±0,7	0	0,05±0,02	2,3±0,4
9	3,4±0,0	0,2±0,0	0,5±0,0	0,2±0,0	14,9±3,0	2,4±0,7	0	0,06±0,02	1,2±0,2
10	6,5±0,1	0,5±0,0	2,1±0,1	0,3±0,0	8,4±1,7	6,2±1,4	0,08±0,01	0,56±0,19	7,4±1,2
11	2,4±0,1	0,2±0,1	0,3±0,0	0,2±0,0	8,0±1,6	2,2±0,7	0	0,12±0,04	1,1±0,2
СанПиН 1.2.3685-21	100	50	200	12	500	45	3,3	2,0	350
Приказ № 552 от 2016	180	40	120	50	100	40	0,08	0,5	300

Вокруг «НЛМК» можно выделить зоны воздействия на окружающую среду (таблица 38).

Таблица 38 – Зоны загрязнения снежного покрова растворимыми фракциями ТМ вокруг ПАО «НЛМК»

Зона	Расстояние от источника загрязнения, км	Превышение содержания ТМ по отношению к фоновому, раз
СЗ	1-4	НД
Зона I	4-9	41
Зона II	9-14	7
Зона III	14-22	3
Фон	22+	1

НД – нет данных

При выделении зон воздействия на НЛМК четко просматривается влияние высоты трубы (теневого эффект). Основное поступление металлов происходит на удалении до 9 км от источника выброса, далее концентрация металлов начинает снижаться и на расстоянии 23 км от факела наблюдаются значения близкие к фоновым.

По итогам исследования определена степень влияния металлургических производств на окружающую среду в результате атмосферного переноса. Установлены уровни воздействия атмосферных выбросов на подстилающую поверхность. Содержание ряда ТМ в твердом осадке снежного покрова обследуемой территории ПАО «НЛМК» г. Липецк до 20 раз превышает аналогичные показатели для электрометаллургических заводов ООО «НЛМК-Калуга». Такая разница экологического воздействия ПАО «НЛМК» объясняется тем, что для производства стали используется не электродуговые сталеплавильные печи (как ООО «НЛМК-Калуга»), а доменные печи с более высокими объемами выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. При производстве стали на ООО «НЛМК-Калуга» используется лом черных металлом, а не руда как на ПАО «НЛМК».

Так же стоит принимать во внимание, что производственные мощности ПАО «НЛМК» (9,9 млн. т. стали) примерно в 6 раз превышают проектную мощность ООО «НЛМК-Калуга» (1,6 млн. т. стали). Даже с учетом этой поправки электродуговое производство стали с использованием лома черных металлов является более экологичным по сравнению с производством стали с использованием доменных печей и руды в качестве сырья.

4.2. Мониторинг состояния агроценозов в зоне влияния металлургического производства

4.2.1. Агроэкологический мониторинг сельскохозяйственных угодий ООО «Россия»

Липецкой области, расположенных в 30 км зоне ПАО «НЛМК»

Основным стационарным источником загрязнения ТМ в Липецкой области и по центральному региону в целом является публичное акционерное общество «Новолипецкий металлургический комбинат» (ПАО «НЛМК»), который является предприятием с полным

металлургическим циклом (таблица 39). В выбросах ПАО «НЛМК» обнаружены такие ТМ, как: Cd, Cr, Co, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb, Zn и др. [9, 58].

Таблица 39 – Динамика выбросов загрязняющих веществ предприятиями г. Липецка [1, 154-155]

Наименование предприятия	Выброс загрязняющих веществ, тыс. т/год							
	1990	1991	1995	2000	2005	2010	2011	2016
ПАО «НЛМК»	580,0	453,3	366,8	265,0	256,6	277,7	277,2	276,0
ПО «Центролит»	21,63	15,2	12,75	0,93	0,83	Нд	Нд	Нд
ТЭЦ-2	15,95	Нд	20,63	12,19	9,86	Нд	1,8	Нд
Завод «Свободный Сокол»	12,42	8,32	10,0	9,0	9,0	2,8	1,4	Нд
Цементный завод	11,52	10,62	9,9	4,79	3,2	10,8	9,6	Нд
Трубный завод	6,45	4,68	4,36	2,19	1,99	Нд	Нд	Нд
ГП «ЛТЗ»	8,34	5,19	4,14	2,67	1,78	Нд	Нд	Нд
Тепловые сети ПОЭЭ «Липецкэнерго»	1,12	Нд	0,99	1,65	1,78	Нд	Нд	Нд

*Нд- нет данных

Сельскохозяйственное предприятие ООО «Россия» расположено на юго-востоке от НЛМК. Согласно розе ветров в данном регионе приоритетным направлением распространения техногенного загрязнения от НЛМК является юго-восток.

Критериями выбора тестового хозяйства являлись:

- высокие уровни загрязнения ТМ почв сельскохозяйственных угодий;
- площадь сельскохозяйственных угодий;
- наличие хорошо развитых отраслей сельского хозяйства (растениеводство, кормопроизводство);
- высокие коэффициенты техногенной загрязненности снежного покрова;
- зафиксированные случаи превышения санитарно-гигиенических нормативов в сельскохозяйственной продукции, производимой в данном хозяйстве.

4.2.1.1 Агроэкологическая характеристика ООО «Россия»

Сельскохозяйственное предприятие ООО «Россия» является типичным агропромышленным комплексом Липецкой области и территориально расположено на востоке от г. Липецка на границе с НЛМК (рисунок 20). Основным производственным направлением этого хозяйства является растениеводство и молочное животноводство. Общая площадь землепользования хозяйства составляет 4150 га, в том числе пашни – 3345 га. (в настоящее время значительное количество угодий на которых проводились исследования отошло под застройку промышленными предприятиями).



Рисунок 20 – Новолипецкий металлургический комбинат

ООО «Россия» располагается на равнине, встречаются понижения в виде ложбин, блюдец, пойменных участков, в которых формируются гидроморфные почвы. В данном регионе основными возделываемыми культурами являются: зерновые (ячмень, озимая рожь и пшеница,) и кормовые (кукуруза на силос, однолетние и многолетние травы), картофель.

Почвенный покров исследуемой территории представлен выщелоченными черноземами различного механического состава, в основном среднесуглинистыми. Встречаются и выщелоченные черноземы легкого механического состава (рисунок 21). Почвы хозяйства хорошо окультурены и высокоплодородны, урожайность возделываемых сельскохозяйственных культур выше средних по региону [154-155].

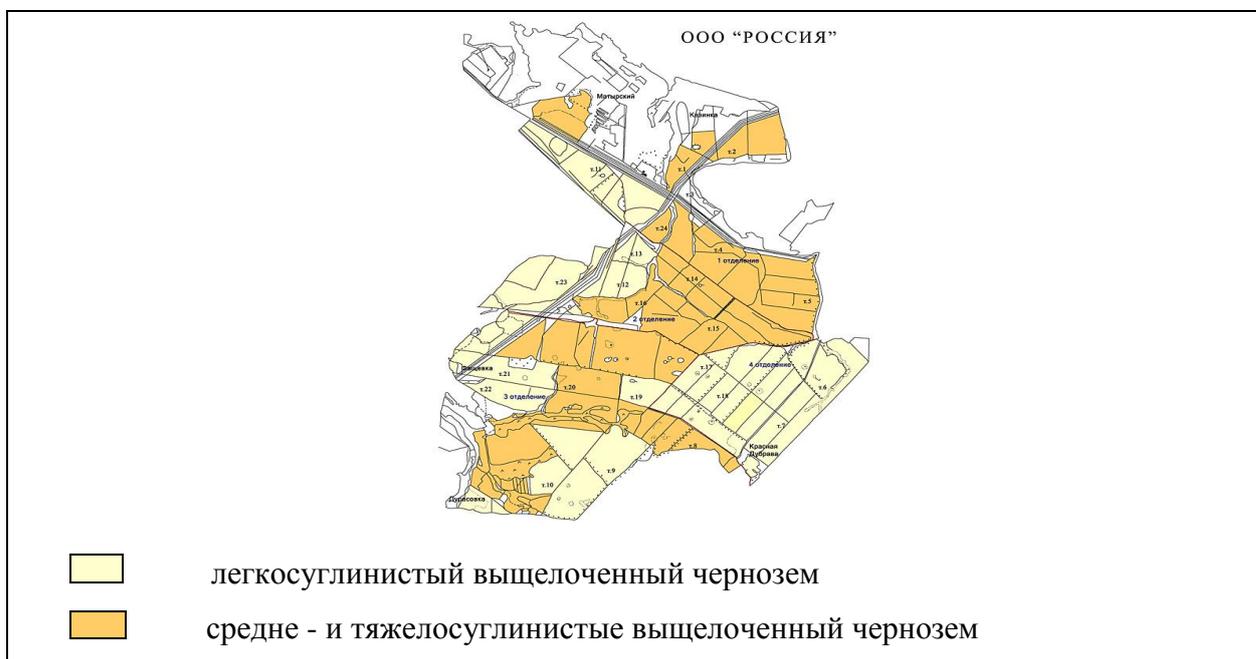


Рисунок 21 – Распределение сельскохозяйственных угодий ООО «Россия» по группам почв

Характеристики почв отличаются для выщелоченного чернозема различного механического состава. Так, содержание гумуса в тяжелосуглинистых и среднесуглинистых почвах составляет 6-7%, в легкосуглинистых 4,5-5%. Реакция почвенного раствора колеблется в пределах рН 5,8-6,2 [1, 129].

4.2.1.2 Содержание ТМ в почвах и растительности ООО «Россия»

Проведенные исследования позволили установить, что основные выпадения тяжелых металлов происходят в ближней зоне промышленного предприятия НЛМК на расстоянии 2-8 км. С увеличением расстояния от ПАО «НЛМК», количество пылевидных выпадений снижается, а на расстоянии 16 км выпадения не регистрируются (рисунок 22). Данный факт можно объяснить тем, что наиболее тяжелые фракции загрязняющих веществ выпадают в ближней зоне промышленного предприятия. При этом максимальный вес пылевидных выпадений был выявлен в восточном направлении от ПАО «НЛМК», где сельскохозяйственные угодья непосредственно примыкают к промышленной площадке [156-157]. Данные исследования соответствуют полученным данным при аналогичных исследованиях по снежному покрову.

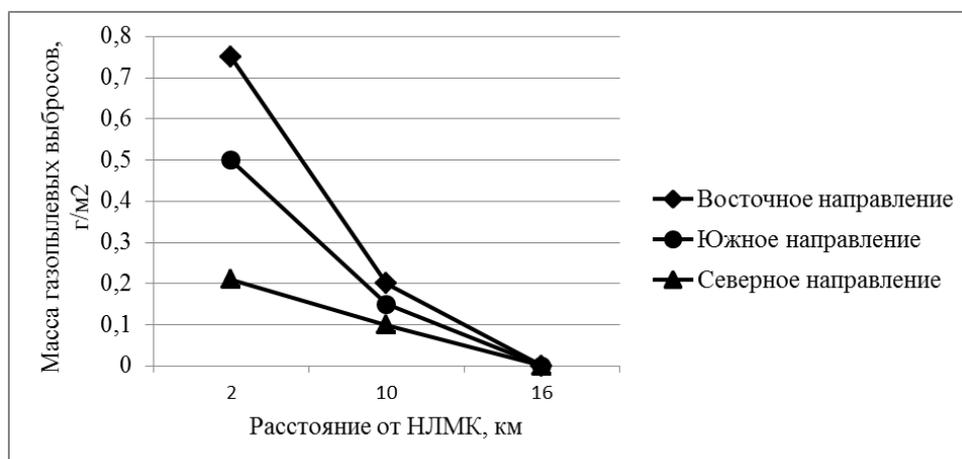


Рисунок 22 – Масса газопылевых выбросов в зоне воздействия ПАО «НЛМК», г/м² [118]

Для выявления возможного накопления ТМ в почвах в зоне воздействия ПАО «НЛМК» используют также метод сравнения по фоновому содержанию ТМ за пределами области влияния. Содержание ТМ в почвах за пределами 50 км зоны воздействия НЛМК варьирует в зависимости от гранулометрического состава и типа почв, что определяет и различия с кларковыми значениями (таблица 40). Было проведено сравнение валового содержания элементов с их фоновым содержанием, с кларками, а также с ПДК (ОДК) тех элементов, для которых они приняты. Для некоторых ТМ (в том числе Со и Сг) величины ОДК не приняты, и для оценки степени загрязнения почв этими металлами используют эмпирическую зависимость (формула 21) [1, 156].

$$\text{ПДК} = 2 \times \text{Фон} \quad (21)$$

Таблица 40 – Концентрации тяжелых металлов в почве пахотных угодий зоны воздействия ПАО «НЛМК», мг/кг [156]

Почвы	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Чернозем выщелоченный среднесуглинистый (фон)	0,19±0,03	7,0±1,1	25,0±3,8	13,5±2,0	23,0±3,5	9,5±1,4	42,5±6,4
Чернозем выщелоченный легкосуглинистый (фон)	0,10±0,02	2,3±0,3	8,0±1,2	7,0±1,1	6,5±1,0	4,5±0,7	20,0±3,0
Кларковое содержание элементов в почве по А.П. Виноградову [158]	0,5	8,0	70,0	20,0	40,0	10,0	50,0
ПДК (ОДК) с учетом фона	1,0	10,0*	100,0*	66,0	40,0	65,0	110,0
Северное направление	0,25-0,28	9,8-10,6	7,8-24,5	11,8-13,8	26,4-27,8	0,5-12,2	42,8-45,9
Северо-восток направление	0,16-0,22	2,6-10,0	6,8-23,5	10,4-14,7	6,7-28,5	9,2-13,2	35,0-38,3
Восток направление	0,21-0,30	2,5-9,8	17,3-50,4	7,5-25,9	6,0-33,4	5,0-29,8	23,3-99,1
Юго-восток направление	0,11-0,34	2,2-4,5	6,0-18,3	3,4-12,3	4,1-15,8	3,1-7,2	11,9-24,9
Южное направление	0,15-0,34	2,8-6,4	5,2-20,4	9,5-18,9	8,0-55,8	1,4-37,5	15,6-61,7
Юго-Запад направление	0,21-0,27	6,1-9,0	16,4-20,5	13,0-14,6	16,1-24,1	8,2-11,9	32,4-36,0
Западное направление	0,20-0,24	4,3-9,1	21,2-28,8	11,3-18,1	13,0-24,5	9,6-34,4	30,6-33,6
Северо-Запад направление	0,19-0,22	8,3-10,1	17,3-26,2	9,3-15,9	20,9-25,7	8,9-14,9	26,1-39,6
Коэффициент концентрации (Кс)	1,0-3,1	1,0-4,81	1,0-9,7	1,0-7,6	1,0-13,6	1,0-75,0	1,0-8,3
Суммарный показатель загрязнения (Zс)							
Северное направление	21-57						
Северо-восток направление	31-54						
Восток направление	24-99						
Юго-восток направление	11-33						
Южное направление	53-107						
Юго-Запад направление	38-52						
Западное направление	45-100						
Северо-Запад направление	41-60						

*- расчетные данные

По расчетным данным установили, что уровень загрязнения почвы ТМ зависит от расстояния и направления от источника выброса, суммарный показатель загрязнения почв колебался от низкого до высокого (таблица 19, 40), что свидетельствует о высокой техногенной нагрузке на почвенный покров от промышленных предприятий.

Так же установлено, что для природных участков и кормовых угодий характерна выраженная аккумуляция тяжелых металлов в верхних слоях почвы, что согласуется с высказыванием В.В. Вершинина [8], который утверждает о особенно прочной фиксации ТМ в гумусосодержащем горизонте и необходимости проводить тщательный анализ на загрязнения данного слоя почвы. При этом основное количество тяжелых металлов сосредоточено в слоях 0-2 и 2-5 см (таблица 41). Наибольшие различия характерны для Ni, Cr, а в ряде случаев для Cd, Pb и Zn. Вместе с тем указанный разброс значений наиболее выражен для участков, расположенных вблизи ПАО «НЛМК», а при удалении это расхождение существенно нивелируются, что указывает на снижение техногенной нагрузки на верхние слои почвы с увеличением расстояния от промышленных объектов. Следует отметить, что в ряде случаев

содержание тяжелых металлов в слое 0-2 см ниже, чем в слое 2-5 см, что, вероятно обусловлено процессами перераспределения тяжелых металлов в верхних слоях почвы и наблюдаемым уменьшением промышленных выбросов поллютантов в последние годы [156].

Таблица 41 – Содержание тяжелых металлов в профиле почв целинных участков на разном расстоянии от ПАО «НЛМК», мг/кг

Элемент глубина	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
2 км к юго-востоку от ПАО «НЛМК» (луг, чернозем выщелоченный среднесуглинистый)							
0-2	1,70±0,26	13,7±2,1	52,3±7,8	33,1±5,0	37,7±5,7	27,1±4,1	115,3±17,3
2-5	1,90±0,29	14,1±2,1	57,1±8,6	27,4±4,1	43,4±6,5	31,5±4,7	121,4±18,2
5-10	0,90±0,14	8,2±1,2	27,5±4,1	14,3±2,1	16,5±2,5	16±2,4	59,0±8,9
10-20	0,43±0,1	8,1±1,2	21,1±3,2	13,2±2,0	14,3±2,1	11,1±1,7	31,2±4,7
20-40	0,35±0,05	8,0±1,2	20,3±3,0	12,1±1,8	13,7±2,1	9,1±1,4	27,5±4,1
40-60	0,31±0,05	7,7±1,2	20,2±3,0	12,3±1,8	13,8±2,1	8,2±1,2	26,4±4,0
60-80	0,23±0,03	7,5±1,1	20,1±3,0	12,2±1,8	13,9±2,1	8,0±1,2	25,0±3,8
80-100	0,20±0,03	7,5±1,1	19,7±3,0	11,8±1,8	14,0±2,1	7,9±1,2	25,2±3,9
100-120	0,20±0,03	7,4±1,1	19,8±3,0	12,0±1,8	13,7±2,1	7,8±1,2	25,0±3,8
35 км к юго-востоку от ПАО «НЛМК», (луг, чернозем выщелоченный среднесуглинистый)							
0-2	0,15±0,02	2,9±0,4	9,6±1,4	7,7±1,2	8,4±1,3	5,8±0,9	34,7±5,2
2-5	0,10±0,02	3,2±0,5	10,0±1,5	7,5±1,1	8,9±1,3	6,2±0,9	35,1±5,3
5-10	0,10±0,02	2,8±0,4	8,7±1,3	7,0±1,1	8,5±1,3	5,8±0,9	32,3±4,8
10-20	0,08±0,01	2,5±0,4	8,5±1,3	6,8±1,0	7,5±1,1	4,6±0,7	31,5±4,7
20-40	0,08±0,01	2,5±0,4	8,2±1,2	6,5±1,0	7,2±1,1	4,3±0,6	31,0±4,7
40-60	0,08±0,01	2,5±0,4	8,1±1,2	6,5±1,0	7,2±1,1	4,2±0,6	26,1±3,9
60-80	0,08±0,01	2,5±0,4	8,2±1,2	6,5±1,0	7,3±1,1	4,3±0,6	25,4±3,8
80-100	0,07±0,01	2,5±0,4	8,1±1,2	6,5±1,0	7,2±1,1	4,2±0,6	25,0±3,8
100-120	0,07±0,01	2,4±0,4	8,0±1,2	6,4±1,0	7,2±1,1	4,2±0,6	24,7±3,7

В результате механической обработки пашни происходит перемешивание ТМ, что приводит к их равномерному распределению в пахотном слое почвы. Вместе с тем максимальное содержание ТМ в слое 0-20 см наблюдается на полях, расположенных в непосредственной близости от промышленного предприятия. При этом для выщелоченных черноземов на удалении 5 км от источника загрязнения характерно превышение содержания кларка для Cd и этот показатель в 2,3 и 4,3 раза выше установленных значений для почв на дистанции 13 и 30 км. Также наблюдается более высокое содержание Cd, Pb и Zn [156].

Среди ТМ, основными загрязняющими элементами по наблюдаемой степени частоты превышения ПДК в растениях являются Fe, Cr, Ni, Zn. Согласно ГОСТ Р 70281-2022 [57] Zn относится к 1 классу опасности химических веществ. Кроме того, Zn обладает высокой подвижностью в системе почва-растение.

Необходимо отметить, что загрязнение почвенно-растительного покрова в зоне влияния ПАО «НЛМК» происходит в основном в результате атмосферных выпадений загрязняющих веществ. При анализе результатов экологического мониторинга аграрных экосистем установлено, что практически на всех кормовых угодьях ООО «Россия» по ряду ТМ

превышены максимально допустимые уровни их содержания в кормах сельскохозяйственных животных и травостое: Cr (от 1,5 до 16 раз), Ni (до 13 раз), Fe (до 1,5-2,0 раз) (таблица 42-43) (рисунок 23-25) [1, 96, 119]. В наибольшей степени загрязнение растений ТМ происходит в ближней зоне воздействия предприятия на расстоянии 2-7 км. Увеличение расстояния от предприятий НЛМК до 50 км обуславливает снижение Fe до 14,6 раза, Cr до 8,3 раза, Ni до 22,8 раза.

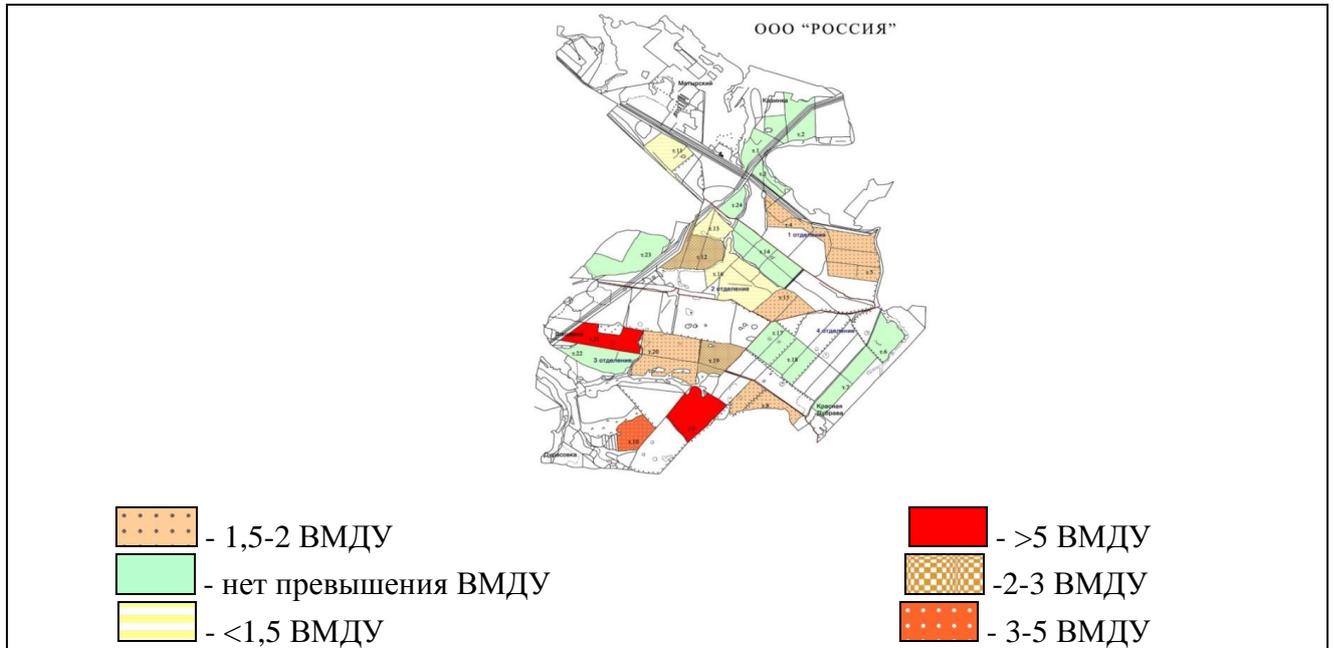


Рисунок 23 – Карта-схема загрязнения сельскохозяйственных культур Ni. Превышение ВМДУ в кормах [1]

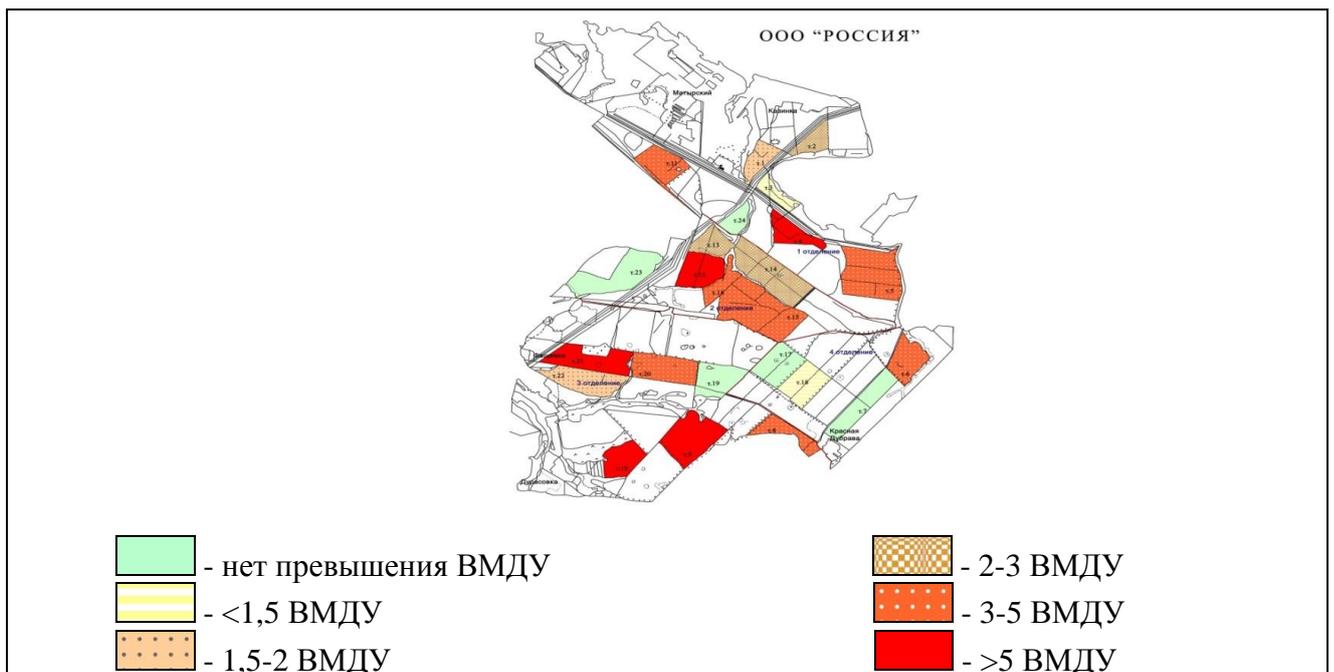


Рисунок 24 – Карта-схема загрязнения сельскохозяйственных культур Cr. Превышение ВМДУ в кормах [1]

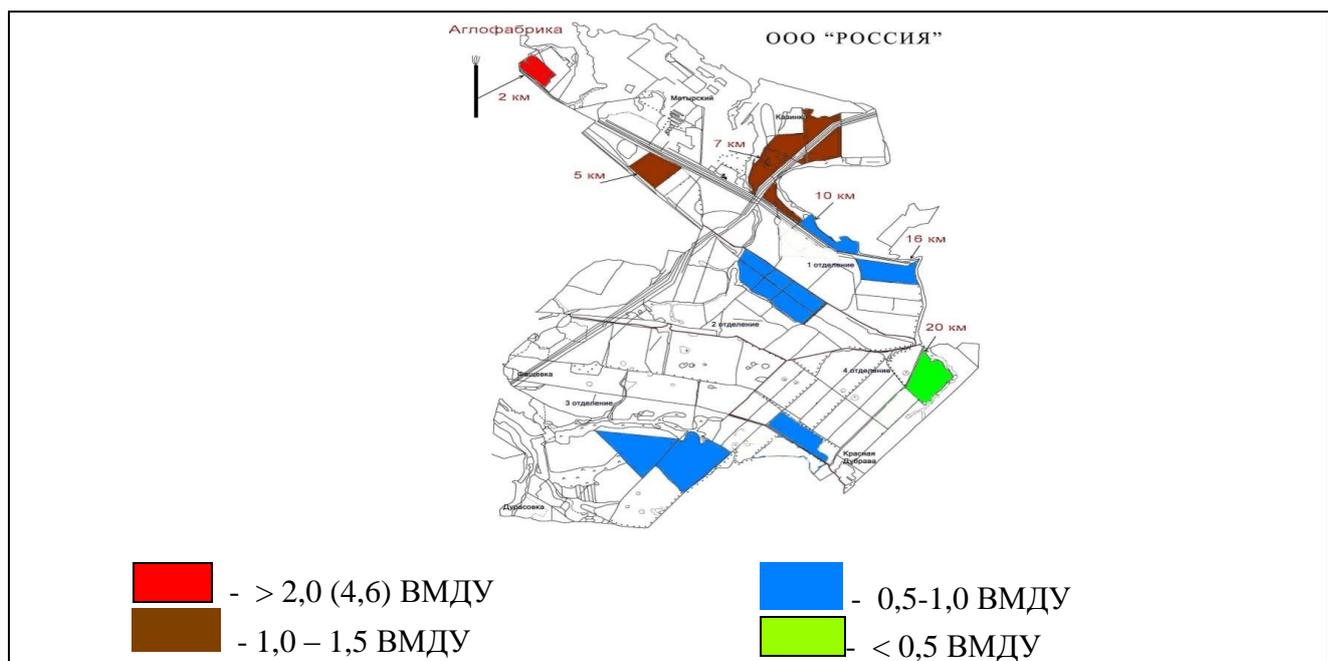


Рисунок 25 – Карта-схема загрязнения многолетних трав Fe. Превышение ВМДУ в кормах [1]

Таблица 42 – Содержание ТМ в сельскохозяйственных культурах ООО «Россия» Липецкой области (темным цветом выделено превышение ДУ или ВМДУ) [1, 86, 137]

Точка отбора	Культура/населённый пункт	№ поля/ общ. пл.	Площадь посева	Содержание ТМ, мг/кг							
				Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Zn
Отделение 1											
1	Кукуруза/Казинка	II/213,3	104,3	0,042	3,74	4,42	226,29	33,07	1,43	0,52	35,38
2	оз. рожь/Казинка	II/213,3	109,0	0,035	1,32	2,96	44,04	25,67	0,88	0,09	25,14
3	Ячмень/Казинка	-	-	0,043	0,84	1,87	54,35	34,90	0,92	1,58	42,94
4	Ячмень/летн. лагерь	III/261,9	156,4	0,026	3,01	2,78	76,00	9,51	2,18	0,28	27,85
5	Ячмень/Грязи	IV/221,2	106,2	0,027	2,56	2,77	53,91	10,80	2,17	0,17	31,14
11	оз. пшен./Матырское	-	71	0,044	1,98	4,28	56,66	34,42	1,76	0,25	54,35
13	оз. рожь/Матырское	I/193,5	105	0,029	1,57	5,03	40,83	23,96	1,31	0,18	24,65
24	Кукуруза/летн. лагерь	III/261,9	105,5	0,039	0,63	2,92	117,54	32,75	0,33	0,33	14,77
Отделение 2											
12	Ячмень/Матырское	VI/		0,025	3,91	3,34	73,08	17,34	2,72	0,28	23,26
14	Ячмень/Фашевка	II/59,5	59,5	0,020	1,45	3,47	31,58	10,39	1,03	0,11	23,97
15	Ячмень/Кр. дубр-Фашевка	IX/219,6	117,5	0,076	2,92	3,17	51,47	15,20	2,03	2,77	22,05
16	Ячмень/Кр. дубр-Фашевка	X/226,4	106,4	0,015	2,33	2,74	56,16	11,63	1,68	0,22	23,81
23	Кукуруза/Фашевка	-	140	0,065	1,55	3,59	118,59	38,96	1,10	2,25	27,19
Отделение 3											
9	оз. рожь/Дурасовка	VIII/173,0	173,0	0,028	7,12	2,75	28,79	20,89	5,98	1,13	22,54
10	Ячмень/Дурасовка	VII/231,6	231,6	0,024	4,10	4,81	48,82	12,97	3,70	0,20	24,49
20	Ячмень/Фашевка	V/248,6	137,8	0,085	2,92	3,31	49,97	13,97	2,27	3,02	26,55
21	Овес/Фашевка	III/184,3	184,3	0,140	20,18	10,96	103,71	12,49	13,06	0,34	37,61
22	Подсолнечник/Фашевка	IV/202,2	132,7	0,085	4,18	3,17	54,84	38,25	3,89	2,92	21,30
Отделение 4											
6	вика-овес/Грязи	XI/153	153	0,074	7,98	1,85	57,34	43,57	6,67	0,21	29,52
7	подсолн./Кр. дубрава	II/123	123	0,194	0,96	5,18	158,86	48,77	2,08	0,36	34,63
8	Ячмень/Кр. дубрава	VIII/128	68	0,026	2,47	2,83	39,62	7,92	1,97	1,86	32,87
17	оз. рожь/Кр. дубрава	VII/123	123	0,016	0,61	2,75	27,53	20,83	0,56	0,30	22,36
18	оз. пшен./Кр. дубрава	VI/142	142	0,026	0,78	4,99	30,61	33,21	0,97	0,23	33,52
СанПиН 2.3.2.1078-01 (ДУ)		зерно		0,1	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	н.о.	0,5	н.о.
Временный максимально-допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных (123-4/281-8-87)		зерно, зернофураж		0,3	0,5	30	100	н.о.	1,0	5,0	50

н.о. – норматив отсутствует

Кратности превышения содержания ТМ в сельскохозяйственных культурах на территории ООО «Россия» представлены в таблице 43.

Таблица 43 – Содержание ТМ в сельскохозяйственных культурах производимых на территории ООО «Россия» [1, 86, 137]

Элемент	Точка отбора	ВМДУ, мг/кг	Исходное содержание ТМ, мг/кг	Превышение, раз
Отделение 1				
Zn	11	50	54,35	1,09
Cr	1	0,5	3,74	7,48
Cr	2	0,5	1,32	2,64
Cr	4	0,5	0,84	1,68
Cr	5	0,5	3,01	6,02
Cr	11	0,5	2,56	5,12
Cr	13	0,5	1,98	3,96
Cr	24	0,5	1,57	3,14
Fe	1	100	226,29	2,26
Fe	24	100	117,54	1,18
Отделение 2				
Cr	12	0,5	3,91	7,82
Cr	14	0,5	1,45	2,90
Cr	15	0,5	2,92	5,84
Cr	16	0,5	2,33	4,66
Cr	23	0,5	1,55	3,10
Fe	23	100	118,59	1,19
Отделение 3				
Cr	9	0,5	7,12	14,24
Cr	10	0,5	4,10	8,20
Cr	19	0,5	1,21	2,42
Cr	20	0,5	2,92	5,84
Cr	21	0,5	2,18	4,36
Cr	22	0,5	4,18	8,36
Ni	9	3,0	5,98	1,99
Ni	10	3,0	3,70	1,23
Ni	19	3,0	3,02	1,01
Ni	21	3,0	13,06	4,35
Ni	22	3,0	3,89	1,30
Отделение 4				
Cr	6	0,5	7,98	15,96
Cr	7	0,5	0,96	1,92
Cr	8	0,5	2,47	4,94
Cr	17	0,5	0,61	1,22
Cr	18	0,5	0,78	1,56
Ni	6	3,0	6,67	2,22
Fe	7	100,0	158,86	1,59

Анализ данных мониторинга показал, что содержание Cr в зерновой продукции превышено до 16 раз, Ni до 5 раз, Fe до 3 раз, Zn до 2 раз.

Таким образом, аэральное загрязнение ТМ представляет основную опасность и должно учитываться при организации земледелия в зоне воздействия ПАО «НЛМК». При этом в результате длительной работы металлургического комбината возможно накопление ТМ в концентрациях, превышающих нормативы в почвах как в 10-км зоне воздействия ПАО «НЛМК», так и за ее ближними пределами. В связи с увеличением риска получения сельскохозяйственной продукции, не соответствующей санитарно-гигиеническим нормативом, возникает необходимость адресного внедрения реабилитационных мероприятий [1, 86].

4.2.2. Агроэкологический мониторинг сельскохозяйственных угодий, расположенных в 30 км зоне влияния ООО «НЛМК-Калуга»

На электрометаллургическом заводе ООО «НЛМК-Калуга» реализованы лучшие из доступных технологий и решений по минимизации негативного воздействия на окружающую среду. Удельные выбросы ВХВ ООО «НЛМК-Калуга» в атмосферный воздух составляют около 1 кг/т выплавляемой стали. Для сравнения, на предприятиях полного металлургического цикла (в том числе ПАО «НЛМК», г. Липецк) удельные выбросы составляют более 25 кг/т, а на лучших мини-заводах страны 2-3 кг/т. Такие низкие показатели «НЛМК-Калуга» достигаются за счет эффективной газоочистки [159-160].

На предприятии для очистки выбросов от пыли, образующейся при выплавке стали, работает централизованная система газоочистки, которая оборудована рукавными фильтрами со степенью очистки более 99%. Система удаляет не только технологические газы непосредственно из агрегатов, но и неорганизованные выбросы, тем самым обеспечивая комфортные условия работы в цехе. Для этого предусмотрены системы аспирации, а в кровле цеха установлен вытяжной зонт [159-160].

Однако имеющийся опыт показывает, что какой бы совершенной ни была экологическая составляющая, природоохранные проблемы всегда возникают и в ряде случаев даже могут привести к возникновению чрезвычайных ситуаций на прилегающих территориях.

Попадая в окружающую среду даже в разрешенных количествах, загрязняющие вещества постепенно накапливаются в различных ее компонентах, что приводит к нарушению экологического равновесия в различных экосистемах и снижению их адаптационных возможностей. В связи с этим необходим постоянный комплексный экологический мониторинг за состоянием окружающей среды в районах расположения промышленных площадок.

Основной решаемой задачей при проведении экологического мониторинга является получение исходных данных для изучения протекающих в окружающей среде процессов с целью установления соотношения между качественным и количественным составом загрязнителей, присутствующих в компонентах окружающей среды, и специфической реакцией

компонентов на это присутствие. Для этой цели до ввода в эксплуатацию ООО «НЛМК-Калуга» были проведены мониторинговые работы, позволяющие судить о фоновых концентрациях загрязнителей в почве и растительности. Полученные результаты использованы для оценки и прогноза изменений состояния окружающей среды с целью выработки рекомендаций по совершенствованию природоохранной системы в районах расположения промышленных предприятий.

4.2.2.1. Содержание тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий

Обследование сельскохозяйственных угодий, находящихся в зоне возможного воздействия выбросов ООО «НЛМК-Калуга» проводилось в 2014, 2016, 2018 годах и показало, что содержание тяжелых металлов в почвах не превышает установленных ПДК [129] (таблица 44-46).

Таблица 44 – Содержание тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий 30 км зоны воздействия ООО «НЛМК-Калуга» 2014 год (до ввода в эксплуатацию), мг/кг [129]

№ точки	Расстояние от ООО «НЛМК-Калуга», км	Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	Zn	Mn	Fe
Северное											
9	10,2	0,102	4,91	19,3	8,4	18,7	7,3	16,7	29,4	482,9	10108
10	8,5	0,112	6,88	20,9	11,2	21,6	7,4	16,4	31,9	496,6	10998
11	4,8	0,082	5,73	15,7	8,8	18,3	6,8	16,5	30,6	479,6	10462
12	2,6	0,122	7,64	14,5	8,5	17,7	6,5	17,5	27,5	317,8	11966
13	1,07	0,152	6,94	13,8	7,1	13,8	6,7	15,5	23,8	305,1	8491
Северо-западное											
14	11,9	0,102	7,85	18,1	8,5	16,5	7,2	13,1	25,3	309,8	11001
Западное											
20	7,0	0,102	6,28	20,9	9,2	20,5	7,0	17,8	26,7	405,5	11299
15	10,2	0,142	6,45	18,2	9,4	17,6	7,4	18,8	27,1	369,6	11501
23	18,2	0,092	6,83	18,5	10,6	19,1	7,7	21,3	29,5	387,7	10438
24	-*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	25,3	0,122	5,97	17,4	9,1	18,4	8,1	16,2	28,0	377,4	10762
Южное											
18	24,0	0,122	6,67	14,4	7,8	16,7	7,1	16,6	29,6	410,3	10631
17	12,0	0,132	4,05	15,1	7,0	15,8	7,1	15,1	27,2	305,6	11529
8	5,9	0,042	4,54	16,8	7,6	16,4	6,6	14,3	25,5	366,1	12637
21	5,5	0,092	5,87	15,1	8,2	17,2	6,8	17,4	26,2	375,0	11173
6	4,0	0,052	5,4	17,9	8,2	18,1	6,1	14,4	28,6	438,5	11172
Юго-восточное											
7	4,2	0,052	6,31	17,8	8,3	18,0	5,8	14,4	24,6	401,9	11853
19	3,0	0,112	4,94	19,7	9,7	22,5	7,0	17,6	34,1	396,6	11568
27	22,2	0,092	5,09	16,3	8,6	20,7	7,9	16,3	30,6	367,8	11221
28	22,6	0,102	6,37	17,1	7,6	17,4	7,3	16,8	27,1	399,7	11181
Юго-западное											
1	2,3	0,052	6,71	18,3	10,3	17,7	7,7	19,2	31,2	377,3	11571

2	2,8	0,082	6,21	21,1	12,2	19,9	8,2	16,6	31,2	403,4	12827
3	3,0	0,052	6,04	21,2	10,4	22,1	7,3	19,1	29,5	396,8	11738
4	-*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	2,1	0,062	5,61	25,5	10,8	23,7	7,7	19,8	38,8	354,7	14431
16	7,0	0,142	7,15	21,0	9,9	18,7	8,1	20,3	30,4	407,1	11034
22	-*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Восточное											
26	15,0	0,102	5,88	18,6	6,8	19,8	7,3	15,2	26,4	387,5	12941

*- в данных точках отбор проб не производился, т.к на участке ведутся строительные работы

Таблица 45 – Содержание тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий 30 км зоны воздействия ООО «НЛМК-Калуга», 2016 год (2 года эксплуатации), мг/кг [129]

№ точки	Расстояние от ООО «НЛМК-Калуга», км	Тяжелый металл, мг/кг									
		Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	Zn	Mn	Fe
Северное											
9	12,1	0,103	4,81	19,9	7,4	19,7	8,3	17,3	30,1	479,6	11201
10	9,8	0,123	6,23	21,5	10,5	19,5	8,1	14,9	29,7	485,1	10592
11	7,1	0,078	5,43	14,3	9,2	19,0	6,5	15,9	31,8	471,3	9982
12	4,6	0,115	7,39	15,2	8,2	17,8	6,4	17,3	26,5	315,3	12452
13	2,9	0,142	6,98	13,5	7,6	14,3	6,6	15,7	23,9	312,2	8391
Северо-западное											
4	-*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
5	1,9	0,068	5,61	25,6	10,6	23,9	7,6	19,7	39,1	364,0	14468
14	11,7	0,113	7,93	18,6	8,6	16,7	7,3	13,5	25,8	311,2	10922
15	9,8	0,152	6,67	18,9	9,5	17,0	7,8	19,2	27,4	363,7	11423
Западное											
2	2,0	0,087	6,26	21,4	11,5	20,3	8,3	16,8	31,5	409,4	12716
3	2,2	0,054	6,09	21,2	10,3	21,6	7,2	19,3	29,7	405,6	11847
20	5,7	0,098	6,19	20,4	9,6	21,1	6,8	18,1	26,9	404,3	11268
23	17,8	0,106	6,96	19,0	10,3	19,8	7,9	21,4	29,3	396,1	10562
1	1,2	0,051	6,76	18,6	10,6	18,3	7,8	19,5	31,6	386,1	11662
Южное											
8	3,4	0,063	4,61	16,5	7,6	16,3	6,8	14,6	25,6	378,4	12721
17	9,6	0,137	4,23	15,6	7,3	15,9	7,3	15,5	27,7	331,6	11455
18	22,8	0,128	6,72	14,3	7,6	16,4	6,9	16,9	29,4	423,6	10751
Юго-восточное											
7	3,3	0,063	6,41	18,1	8,2	18,3	6,2	14,5	25,1	411,3	11968
21	3,7	0,084	6,11	15,4	8,4	17,9	7,1	17,7	26,4	386,8	11231
25	15,1	0,126	6,01	17,5	9,3	18,7	7,8	16,6	27,7	382,3	10698
27	21,9	0,094	5,04	16,8	8,9	21,3	7,8	16,6	30,8	387,7	11324
28	21,5	0,110	6,36	17,2	7,1	17,8	7,1	17,4	27,2	423,9	11160
29	4,6	0,085	6,98	19,3	8,7	18,0	7,9	16,1	28,9	421,5	11798
Юго-западное											
16	6,4	0,149	7,14	21,4	10,3	18,6	8,6	20,5	30,9	412,3	11089
22	12,2	0,068	6,52	19,7	8,9	19,3	8,1	17,9	29,4	389,9	11124
24	18,4	0,071	6,89	20,4	9,8	18,9	8,5	18,8	28,7	394,3	11197
Восточное											
6	3,6	0,064	5,60	17,8	8,6	17,8	6,6	14,5	28,9	446,8	11253

19	4,5	0,123	4,92	19,9	9,4	23,0	7,4	17,2	33,8	418,4	11662
26	16,1	0,110	5,89	18,5	6,8	20,2	7,4	16,0	26,7	392,6	12964

*- в данных точках отбор проб не производился ,т.к на участке ведутся строительные работы

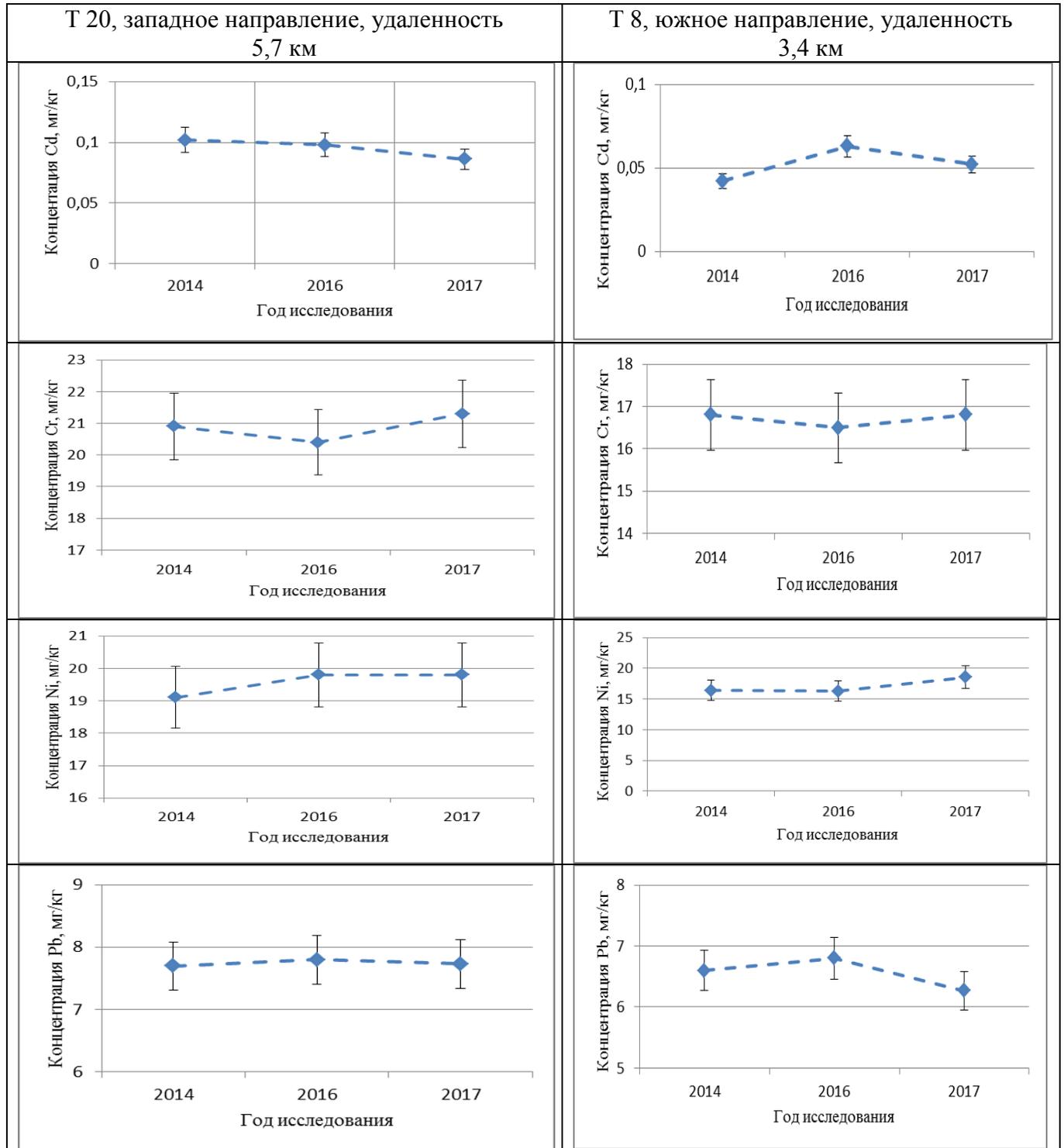
Таблица 46 – Содержание тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий 30 км зоны воздействия ООО «НЛМК-Калуга», 2018 год (4 года эксплуатации), мг/кг [129]

№ точки	Расстояние от ООО «НЛМК-Калуга», км	Тяжелый металл, мг/кг									
		Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	Zn	Mn	Fe
Северное											
9	12,1	0,085	5,39	16,96	7,60	18,53	6,95	16,02	28,27	470,9	9682
10	9,8	0,089	7,69	21,74	10,34	24,79	6,95	16,79	33,96	784,6	11314
11	7,1	0,055	5,29	14,52	7,29	17,49	6,72	16,24	27,28	467,6	9610
12	4,6	0,100	4,54	16,92	9,68	18,04	6,38	18,90	27,69	305,8	10323
13	2,9	0,139	2,58	12,06	4,62	9,68	7,02	12,09	20,04	193,1	6659
Северо-западное											
4	1,5	0,062	5,47	26,58	10,04	25,52	7,08	21,67	37,66	283,7	15095
5	1,9	0,018	5,35	24,36	11,55	22,04	8,39	17,92	39,99	342,7	13768
14	11,7	0,083	4,98	13,77	6,96	16,04	6,75	12,31	24,89	297,8	9047
15	9,8	0,118	5,05	17,14	7,93	17,08	7,16	17,37	26,93	357,6	10668
Западное											
2	2,0	0,060	5,84	22,52	11,44	20,53	7,67	21,03	31,79	391,4	12608
3	2,2	0,031	6,18	20,07	10,32	20,26	7,69	19,89	32,47	384,8	11547
20	5,7	0,086	5,84	21,3	10,8	22,6	6,1	17,5	24,8	431,8	11675
23	17,8	0,106	6,96	19,0	10,3	19,8	7,9	21,4	29,3	396,1	10562
1	1,2	0,032	5,19	19,73	9,19	16,89	7,73	17,53	30,61	365,3	10534
Южное											
8	3,4	0,022	4,65	16,80	8,77	18,54	6,27	14,37	24,62	354,1	12364
17	9,6	0,116	4,05	13,38	6,47	14,36	6,86	14,26	26,42	293,6	10910
18	22,8	0,106	5,08	15,46	7,62	17,24	7,37	15,96	28,13	398,0	10149
Юго-восточное											
7	3,3	0,030	4,11	16,89	7,94	17,46	5,38	14,46	24,52	389,9	11342
21	3,7	0,095	5,81	16,9	9,2	18,1	6,6	16,8	23,2	371,2	11101
25	15,1	0,131	6,23	17,2	9,9	17,8	8,3	17,5	28,2	398,3	11278
27	21,9	0,112	5,61	17,3	9,5	22,2	7,4	16,1	29,7	386,5	11524
28	21,5	0,109	6,03	16,8	7,8	18,1	7,9	17,0	26,1	419,2	10984
29	4,6	0,095	6,84	18,6	9,3	17,8	8,3	15,4	23,4	434,6	11886
Юго-западное											
16	6,4	0,121	5,65	19,35	10,25	19,98	7,76	22,53	33,62	395,1	10343
22	12,2*	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
24	18,4	0,092	5,33	19,03	9,33	17,15	7,68	16,75	30,75	349,5	12158
Восточное											
6	3,6	0,030	5,73	18,65	8,49	18,65	6,93	14,29	28,49	426,5	11002
19	4,5	0,116	5,44	18,7	8,6	23,8	7,3	16,9	34,2	398,5	11345
26	16,1	0,121	6,32	17,8	6,3	21,4	6,9	17,5	25,5	408,7	12739

*- в данных точках отбор проб не производился ,т.к на участке ведутся строительные работы

Содержание ТМ в почве в большинстве случаев соответствует значениям 1 группы суглинистых почв с pH < 5,5. С точки зрения уровней содержания ТМ в почвах нет опасности производства сельскохозяйственной продукции с превышением нормативов [129].

Изменения содержания ТМ в почве во времени (2014-2017 год) не наблюдается. Разброс данных по годам исследования в большинстве случаев покрывается статистической погрешностью (рисунок 26-27).



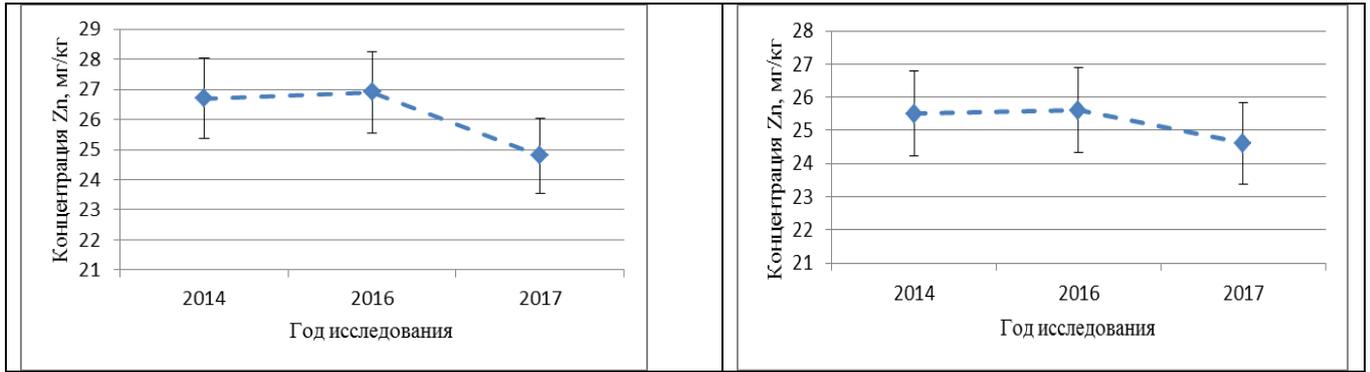
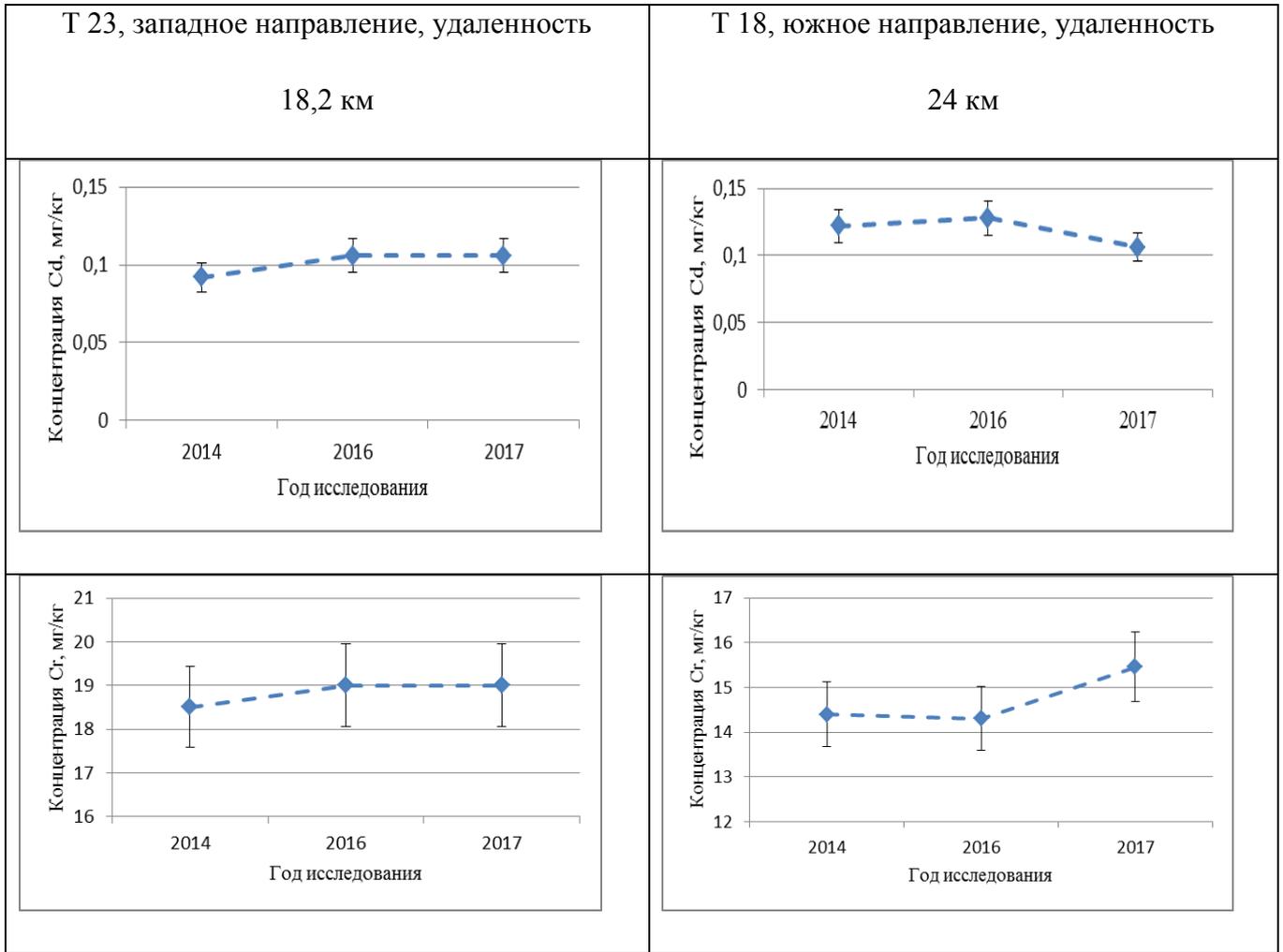


Рисунок 26 – Динамика содержания ТМ в почвах зоны воздействия ООО «НЛМК-Калуга» (до 6 км)



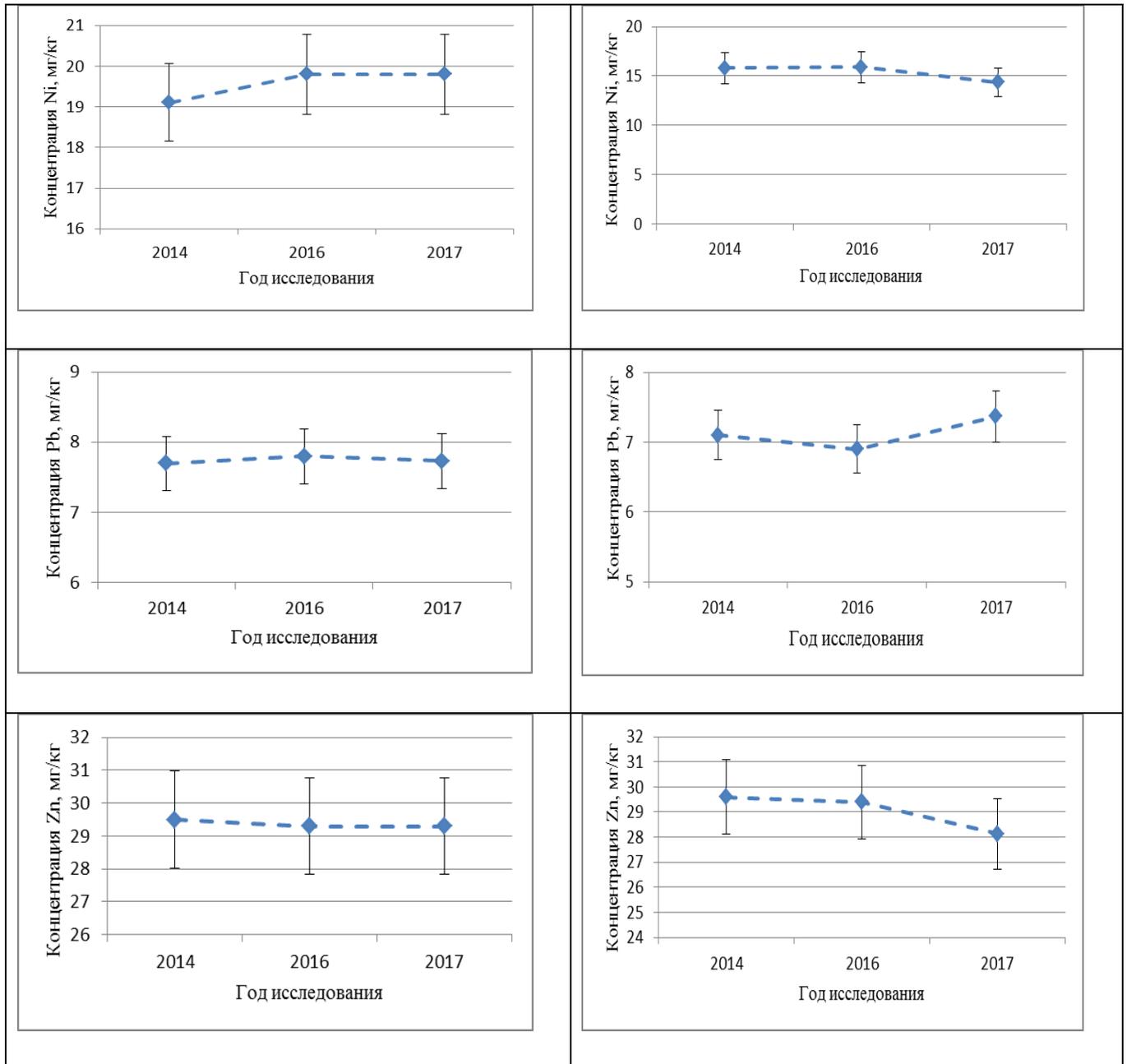


Рисунок 27 – Динамика содержания ТМ в почвах зоны воздействия ООО «НЛМК-Калуга» (более 18 км)

Для определения степени загрязнения почв тяжелыми металлами был рассчитан коэффициент концентрации химических элементов (Кс) и суммарный показатель загрязнения (Zс) (таблица 47).

Таблица 47 – Показатели степени загрязнения почв сельскохозяйственных угодий 30 км зоны воздействия ООО «НЛМК-Калуга», 2018 год [129]

№ точки	Направление и расстояние от ООО «НЛМК-Калуга», км	Коэффициент концентрации тяжелых металлов (Кс)										Zс
		Cd	Co	Cr	Cu	Ni	Pb	Sr	Zn	Mn	Fe	
Северное												
9	12,1	4,7	2,1	1,4	1,6	1,9	1,3	1,3	1,4	2,4	1,5	8,2

10	9,8	4,9	3,0	1,8	2,2	2,6	1,3	1,4	1,7	4,1	1,7	13,0
11	7,1	3,1	2,1	1,2	1,6	1,8	1,2	1,3	1,4	2,4	1,4	6,1
12	4,6	5,6	1,8	1,4	2,1	1,9	1,2	1,6	1,4	1,6	1,6	8,4
13	2,9	7,7	1,0	1,0	1,0	1,0	1,3	1,0	1,0	1,0	1,0	6,0
Северо-западное												
4	1,5	3,4	2,1	2,2	2,2	2,6	1,3	1,8	1,9	1,5	2,3	9,0
5	1,9	1,0	2,1	2,0	2,5	2,3	1,6	1,5	2,0	1,8	2,1	6,7
14	11,7	4,6	1,9	1,1	1,5	1,7	1,3	1,0	1,2	1,5	1,4	5,9
15	9,8	6,6	2,0	1,4	1,7	1,8	1,3	1,4	1,3	1,9	1,6	9,4
Западное												
2	2,0	3,3	2,3	1,9	2,5	2,1	1,4	1,7	1,6	2,0	1,9	8,8
3	2,2	1,7	2,4	1,7	2,2	2,1	1,4	1,6	1,6	2,0	1,7	6,8
20	5,7	4,8	2,3	1,8	2,3	2,3	1,1	1,4	1,2	2,2	1,8	9,5
23	17,8	5,9	2,7	1,6	2,2	2,0	1,5	1,8	1,5	2,1	1,6	11,2
1	1,2	1,8	2,0	1,6	2,0	1,7	1,4	1,4	1,5	1,9	1,6	5,5
Южное												
8	3,4	1,2	1,8	1,4	1,9	1,9	1,2	1,2	1,2	1,8	1,9	3,6
17	9,6	6,4	1,6	1,1	1,4	1,5	1,3	1,2	1,3	1,5	1,6	7,3
18	22,8	5,9	2,0	1,3	1,6	1,8	1,4	1,3	1,4	2,1	1,5	8,7
Юго-восточное												
7	3,3	1,7	1,6	1,4	1,7	1,8	1,0	1,2	1,2	2,0	1,7	3,6
21	3,7	5,3	2,3	1,4	2,0	1,9	1,2	1,4	1,2	1,9	1,7	8,5
25	15,1	7,3	2,4	1,4	2,1	1,8	1,5	1,4	1,4	2,1	1,7	11,6
27	21,9	6,2	2,2	1,4	2,1	2,3	1,4	1,3	1,5	2,0	1,7	10,4
28	21,5	6,1	2,3	1,4	1,7	1,9	1,5	1,4	1,3	2,2	1,6	9,7
29	4,6	5,3	2,7	1,5	2,0	1,8	1,5	1,3	1,2	2,3	1,8	9,6
Юго-западное												
16	6,4	6,7	2,2	1,6	2,2	2,1	1,4	1,9	1,7	2,0	1,6	11,8
24	18,4	5,1	2,1	1,6	2,0	1,8	1,4	1,4	1,5	1,8	1,8	8,7
Восточное												
6	3,6	1,7	2,2	1,5	1,8	1,9	1,3	1,2	1,4	2,2	1,7	5,3
19	4,5	6,4	2,1	1,6	1,9	2,5	1,4	1,4	1,7	2,1	1,7	10,9
26	16,1	6,7	2,4	1,5	1,4	2,2	1,3	1,4	1,3	2,1	1,9	10,3

*- в данных точках отбор проб не производился ,т.к на участке ведутся строительные работы

Суммарный показатель загрязнения (Z_c) в исследуемых почвах варьируют от 3,6 до 13,0. Таким образом, уровни загрязнения почв тяжелыми металлами является низкими [51] (таблица 47). Данные значения подтверждают низкую степень воздействия металлургического предприятия на почвенный покров.

4.2.2.2. Содержание тяжелых металлов в растительности сельскохозяйственных угодий

Накопление тяжелых металлов в сельскохозяйственных культурах определяется рядом факторов, в том числе свойствами почвы, их концентрацией в почве, технологическим режимом предприятий и составом аэрозольных компонентов, спецификой их распространения в атмосфере, а также биологическими особенностями растений.

Учитывая, что почвенный покров в районе расположения ООО «НЛМК-Калуга», представленный в основном дерново-подзолистыми и светло-серыми лесными почвами, не отличается существенной пестротой агрохимических и физических свойств, то при отборе проб растений стремились нивелировать значительное проявление биологических особенностей растений на накопление тяжелых металлов. С этой целью в отбираемые образцы растений включались преимущественно естественные и сеяные многолетние травы, а при их отсутствии отбирались зерновые культуры [129].

Санитарно-гигиенические требования безопасности продовольственного сырья и продуктов для населения определяются значениями, представленными в [92] (таблица 13), а в кормах сельскохозяйственных животных «Временными максимально-допустимыми уровнями (ВМДУ Инструктивное письмо Департамента Ветеринарии №1234-4/281 от 07.08.87 г.) содержания химических элементов в кормах сельскохозяйственных животных и кормовых добавках.

Результаты исследований показывают, что накопление ТМ в растениях в большинстве случаев не превышает установленные нормативные значения и незначительно различается в зависимости от направления и расстояния от ООО «НЛМК-Калуга» (таблица 48-50) [137]. Вместе с тем в ряде случаев в травостое многолетних трав наблюдаются высокие значения Fe. Данное обстоятельство, вероятно обусловлено тем фактом, что вблизи ООО «НЛМК-Калуга» имеется большое количество малоплодородных залежных земель, на которых длительное время не проводились какие-либо агрохимические мероприятия и, в частности, известкование, что способствует увеличению кислотности почв и возрастанию подвижности ТМ в системе почва-растение [129].

Таблица 48 – Содержание тяжелых металлов в растительности сельскохозяйственных угодий 30 км зоны воздействия ООО «НЛМК-Калуга» в 2014 году, мг/кг [129]

№ точки	Расстояние от ООО «НЛМК-Калуга», км	Вид пробы	Co	Ni	Cd	Cr	Cu	Pb	Sr	Zn	Fe	Mn
Северное												
10	8,5	разнотравье	0,3	0,9	0,05	0,06	2,1	0,03	0,9	13,8	75	7
11	4,8	вег.м.кукурузы	0,4	0,8	0,06	0,44	1,7	0,19	4,7	6,6	130	17
12	2,6	разнотравье	0,4	1,0	0,07	0,08	1,6	0,03	0,8	4,3	87	9
13	1,0	вейник	0,2	0,7	0,04	0,19	1,5	0,20	5,5	7,4	90	11
Северо-западное												
14	11,9	разнотравье	0,6	0,7	0,04	0,39	1,5	0,25	4,8	7,0	50	15
Западное												
20	7,0	вейник	0,2	1,3	0,03	0,48	2,3	0,35	12,9	10,6	45	18
23	18,2	разнотравье	0,2	1,3	0,19	0,42	3,7	0,37	19,4	14,9	125	46
Южное												
18	24,0	разнотравье	0,5	2,1	0,05	0,36	1,2	0,31	26,7	20,0	32	52
17	12,0	разнотравье	0,2	1,3	0,04	0,38	2,3	0,38	15,1	13,4	41	20
8	5,9	разнотравье	0,1	1,3	0,22	0,40	6,7	0,20	17,9	18,2	120	46
21	5,5	разнотравье	0,2	1,3	0,15	0,37	4,1	0,36	14,9	12,9	101	26

6	4,0	разнотравье	0,3	1,5	0,16	0,44	4,4	0,25	16,3	13,4	70	15
Юго-восточное												
7	4,2	разнотравье	0,2	2,0	0,07	0,43	3,0	0,49	9,9	13,0	120	67
19	3,0	разнотравье	0,2	0,9	0,05	0,37	1,7	0,33	7,8	12,9	125	44
27	22,2	вег.м.кукурузы	0,3	0,8	0,06	0,10	1,4	0,19	5,6	13,9	131	19
28	22,6	овес (солома)	0,2	1,3	0,02	0,39	2,5	0,44	15,1	11,0	47	20
Юго-западное												
1	2,3	разнотравье	0,1	1,5	0,02	0,24	1,4	0,10	7,8	11,2	90	76
2	2,8	разнотравье	0,4	1,0	0,01	0,14	1,4	0,11	10,9	12,0	55	86
3	3,0	вейник	0,2	1,9	0,12	0,21	1,9	0,14	11,4	12,8	77	42
5	2,1	разнотравье	0,3	1,3	0,14	0,38	4,5	0,31	6,9	21,1	110	85
16	7,0	разнотравье	0,1	0,4	0,11	0,36	2,2	0,38	11,2	5,5	88	21
Восточное												
26	15,0	разнотравье	0,2	1,4	0,03	0,38	2,3	0,37	12,9	10,5	43	18

Таблица 49 – Содержание тяжелых металлов в растительности сельскохозяйственных угодий 30 км зоны воздействия ООО «НЛМК-Калуга» в 2016 году, мг/кг [129]

№ точки	Расстояние от ООО «НЛМК-Калуга», км	Вид пробы	Co	Ni	Cd	Cr	Cu	Pb	Sr	Zn	Fe	Mn
Северное												
10	9,8	разнотравье	0,4	0,6	0,09	0,15	2,9	0,13	1,9	14,3	8	12
11	7,1	вег.м.кукурузы	0,3	0,5	0,07	0,35	2,1	0,19	4,75	7,2	108	15
12	4,6	разнотравье	0,3	0,7	0,13	0,24	3,0	0,31	1,79	4,7	75	11
13	2,9	разнотравье	0,2	0,7	0,20	0,43	2,7	0,23	5,46	8,0	82	14
Северо-западное												
5	1,9	разнотравье	0,3	0,3	0,08	0,45	2,3	0,31	6,92	21,1	85	25
14	11,7	разнотравье	0,5	0,6	0,08	0,35	1,7	0,26	4,91	8,31	45	17
15	9,8	сеянные травы	0,2	0,3	0,12	0,21	2,6	0,31	4,29	9,12	44	22
Западное												
2	2	разнотравье	0,3	0,5	0,11	0,24	2,2	0,09	11,2	12,6	84	33
20	5,7	вейник	0,3	0,8	0,17	0,41	1,3	0,31	12,7	12,3	38	23
23	17,8	разнотравье	0,2	0,3	0,22	0,31	1,4	0,39	18,9	14,4	46	31
1	1,2	разнотравье	0,3	0,8	0,25	0,25	2,5	0,08	7,71	12,1	76	34
Южное												
8	3,4	разнотравье	0,2	0,6	0,11	0,36	2,3	0,20	17,9	18,2	46	22
17	9,6	разнотравье	0,4	0,7	0,17	0,31	2,3	0,39	14,6	14,2	120	19
18	22,8	разнотравье	0,5	0,7	0,09	0,39	2,1	0,37	27,2	20,3	54	17
Юго-восточное												
7	3,3	вейник	0,1	1,2	0,20	0,43	1,9	0,14	11,8	12,3	45	38
21	3,7	разнотравье	0,2	1,7	0,13	0,37	2,7	0,70	16,4	21,7	131	41
27	21,9	вег.м.кукурузы	0,4	0,4	0,10	0,23	2,8	0,22	5,43	14,3	50	21
28	21,5	овес (солома)	0,4	0,4	0,07	0,41	2,2	0,43	15,9	11,4	40	17
29	4,6	разнотравье	0,2	0,6	0,28	0,31	2,0	0,36	14,5	12,1	48	17
Юго-западное												
16	6,4	разнотравье	0,2	0,5	0,07	0,28	2,4	0,32	11,6	5,6	41	20
22	12,2	разнотравье	0,2	0,5	0,18	0,39	2,3	0,39	19,4	15,3	45	37
24	18,4	разнотравье	0,2	0,6	0,12	0,22	2,2	0,35	17,5	12,9	34	31
Восточное												
6	3,6	разнотравье	0,2	0,5	0,14	0,44	2,5	0,25	16,3	13,4	50	24
19	4,5	разнотравье	0,3	0,5	0,18	0,32	2,9	0,36	7,93	13,1	49	17
26	16,1	разнотравье	0,3	0,8	0,14	0,39	2,2	0,39	13,2	10,6	38	19

Таблица 50 – Содержание тяжелых металлов в растительности сельскохозяйственных угодий 30 км зоны воздействия ООО «НЛМК-Калуга» в 2018 году, мг/кг [129]

№ точки	Расстояние от ООО «НЛМК-Калуга», км	Вид пробы	Co	Ni	Cd	Cr	Cu	Pb	Sr	Zn	Fe	Mn
Северное												
9	12,1											
10	9,8	разнотравье	0,5	0,5	0,10	0,15	3,2	0,12	2,04	15,4	20	11
11	7,1	разнотравье	0,2	0,5	0,08	0,35	2,8	0,21	4,82	7,5	91	16
12	4,6	разнотравье	0,3	0,8	0,12	0,24	3,3	0,34	2,34	5,2	86	13
13	2,9	разнотравье	0,2	0,8	0,19	0,43	2,5	0,27	4,49	7,81	94	15
Северо-западное												
5	1,9	разнотравье	0,3	0,3	0,09	0,45	2,6	0,34	7,17	20,7	82	22
14	11,7	разнотравье	0,4	0,6	0,08	0,35	2,0	0,29	4,52	8,76	62	19
15	9,8	сеянные травы	0,2	0,3	0,09	0,21	2,1	0,27	4,07	10,5	74	21
Западное												
2	2	разнотравье	0,3	0,5	0,16	0,24	2,5	0,28	10,0	13,4	99	35
20	5,7	вейник	0,3	0,7	0,16	0,41	1,7	0,39	15,4	14,8	46	26
23	17,8	разнотравье	0,2	0,3	0,24	0,31	1,9	0,42	19,7	16,4	54	19
1	1,2	разнотравье	0,2	0,8	0,29	0,25	2,3	0,22	8,12	11,8	68	38
Южное												
8	3,4	разнотравье	0,3	0,6	0,10	0,36	2,4	0,28	16,3	19,8	76	26
17	9,6	разнотравье	0,4	0,7	0,14	0,31	2,7	0,34	15,4	15,1	101	20
18	22,8	разнотравье	0,5	0,7	0,10	0,39	2,6	0,29	24,7	19,5	60	19
Юго-восточное												
7	3,3	вейник	0,2	1,3	0,19	0,43	2,1	0,13	10,7	13,4	42	40
21	3,7	разнотравье	0,2	1,8	0,14	0,37	2,4	0,57	17,2	20,6	146	45
27	21,9	вег. м. кукурузы	0,4	0,5	0,09	0,23	2,6	0,28	6,65	15,1	45	20
28	21,5	овес (солома)	0,4	0,4	0,10	0,41	2,4	0,49	16,4	13,2	49	21
29	4,6	разнотравье	0,3	0,7	0,21	0,31	2,1	0,41	15,8	13,8	71	24
Юго-западное												
16	6,4	разнотравье	0,2	0,5	0,08	0,28	2,9	0,42	14,3	6,7	53	29
22	12,2	разнотравье	0,2	0,5	0,15	0,39	2,0	0,49	20,6	17,2	62	38
24	18,4	разнотравье	0,2	0,6	0,13	0,22	2,5	0,40	16,2	14,0	49	30
Восточное												
6	3,6	разнотравье	0,2	0,6	0,14	0,44	3,1	0,21	17,0	12,5	63	22
19	4,5	разнотравье	0,3	0,7	0,20	0,32	3,2	0,39	7,52	14,4	42	21
26	16,1	разнотравье	0,3	0,9	0,13	0,39	2,6	0,34	14,6	12,9	59	17

Таким образом, в результате проведенных исследований в районах расположения металлургических предприятий ПАО «НЛМК» и «НЛМК-Калуга» установлено, что приоритетные загрязнители в зимний и летний периоды поступают в твердой пылевой форме. В состав выпадений входят тяжелые металлы - Fe, Mn, Zn, Pb, Cr, Ni, Cu, Cd, Co. При этом основным компонентом пылевидных выпадений является железо, количество которого в выпадениях ПАО «НЛМК» и ООО «НЛМК-Калуга» достигает 70,2, и 83,6%, соответственно.

Содержание ряда тяжелых металлов, и особенно железа, в пылевидных выпадениях ПАО «НЛМК» до 7,8 раза превышает соответствующие значения в выпадениях электрометаллургического завода ООО «НЛМК-Калуга».

Интенсивность загрязнения подстилающей поверхности зависит от комплекса факторов: расстояния и направления от источников загрязнения, объемов выбросов, используемых

технологий, вида производимой промышленной продукции, погодных условий и характера подстилающей поверхности. При этом для рассматриваемых предприятий характерны закономерности, заключающиеся в возрастании коэффициентов концентрации тяжелых металлов с приближением к источникам загрязнения, которые для районов расположения ПАО «НЛМК» в среднем в 3,5-7,1 раза выше относительно ООО «НЛМК-Калуга».

Суммарный показатель загрязнения (Z_c) снежного покрова тяжелыми металлами в районе расположения ООО «НЛМК-Калуга» находится в диапазоне низких значений. Для ПАО «НЛМК» характерны средние значения Z_c для ближней промышленно-селитебной зоны воздействия и низкие для дальней сельскохозяйственной.

Катионный (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) и анионный (SO_4^- , NO_3^- , NO_2^- , NH_4^+ , Cl^-) состав жидкой фракции снежного покрова в ближних зонах воздействия ПАО «НЛМК» на порядок выше соответствующих значений района расположения «НЛМК-Калуга». Однако даже с учетом ПДК, установленных для питьевой воды, превышений нормативных значений не установлено. В тоже время для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение, установлены более жесткие нормативы по содержанию химических элементов, что обуславливает в большинстве случаев превышение допустимых уровней содержания Cu в талых водах районов расположения рассматриваемых металлургических предприятий до 5 раз. Для промышленно-селитебной зоны ПАО «НЛМК» также выявлено превышение предельных параметров содержания Zn в талых водах до 9 раз.

Результаты исследований показывают, что содержание ТМ в растениях в большинстве случаев не превышает установленные нормативные значения. Вместе с тем в ряде случаев в травостое многолетних трав наблюдаются высокие значения Fe . [129].

При анализе результатов экологического мониторинга в зоне воздействия ПАО «НЛМК» установлено, что практически на всех кормовых угодьях ООО «Россия» по ряду ТМ за счет аэрального загрязнения наблюдаются превышения ВМДУ их содержания в кормах сельскохозяйственных животных и травостое: Cr (от 1,5 до 16 раз), Ni (до 13 раз), Fe (до 1,5-2,0 раз). В наибольшей степени загрязнение растений ТМ происходит в ближней зоне воздействия предприятия на расстоянии 2-7 км. Увеличение расстояния от предприятий НЛМК до 50 км обуславливает снижение Fe до 14,6 раза, Cr до 8,3 раза, Ni до 22,8 раза. В связи с чем для получения нормативно чистой продукции на территориях прилегающих к ПАО «НЛМК» необходим контроль и мониторинг содержания ТМ в продукции растениеводства.

По результатам исследований 4 главы опубликованы работы:

1. Курбаков Д.Н., Прохорова Т.В., Кузнецов В.К., Санжаров А.И. Мониторинг загрязнения агроэкосистем в 30 км зоне ООО «НЛМК-Калуга» // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук. –2016. – С 81-87.
2. Курбаков Д.Н., Панов А.В., Кузнецов В.К. Агроэкологический мониторинг в зоне воздействия ООО «НЛМК-Калуга» // Техногенный системы и экологический риск: Тезисы докладов I Международной (XVI Региональной) научной конференции. - Обнинск: НИЯУ МИФИ. – 2017. – С.75-77.
3. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Анисимов В.С., Петров К.В. Особенности распределения тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий в зоне воздействия Липецкой промышленной агломерации // Агрехимический вестник. – 2017. – № 6. – С 10-13.
4. Курбаков, Д.Н., Кузнецов В.К., Гешель И.В., Сидорова Е.В. Агроэкологический мониторинг воздействия сельскохозяйственных угодий в зоне воздействия ООО «НЛМК_Калуга» // Материалы Всероссийской научной конференции «Химическое и биологическое загрязнение почв» - Пушкино: – 2018. – С. 115-116.
5. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Андреева Н.В., Новикова Н.В., Саруханов А.В. Загрязнение снежного покрова в 30-километровой зоне электрометаллургического завода ООО "НЛМК-Калуга" // Экология промышленного производства. – 2020. – № 2 (110). – С. 51-55.
6. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Андреева Н.В., Сидорова Е.В. Влияние металлургического производства на загрязнение снежного покрова // Международная научно-практическая конференция. Ядерно-физические исследования и технологии в сельском хозяйстве. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ. – 2020. – С. 270-273.
7. Курбаков, Д.Н. Загрязнение снежного покрова в 30 км зоне электрометаллургического завода ООО «НЛМК-Калуга» // XXI Международной научно-практической конференции. Актуальные проблемы экологии и природопользования. Москва: РУДН. – 2020. – С. 392-397.
8. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Андреева Н.В., Сидорова Е.В., Саруханов А.В., Новикова Н.В., Нуштаева В.Э. Влияние ООО «НЛМК-Калуга» на загрязнение снежного покрова // III международная (XVI региональная) научная конференция. Техногенные системы и экологический риск. Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ. – 2020. – С. 246-248.
9. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Андреева Н.В. Загрязнение снежного покрова в 30-км зоне Новолипецкого металлургического комбината // III международная (XVI региональная) научная конференция. Техногенные системы и экологический риск. Обнинск: ИАТЭ НИЯУ МИФИ. – 2020. – С. 248-250.
10. Kurbakov D.N., Kuznetsov V.K., Andreeva N.V., Sidorova E.V. Polyelement composition of snow cover pollutants in the impact zones of metallurgical enterprise // V Международной конференции.

Актуальные научные и научно-технические проблемы обеспечения химической безопасности» (ASTICS-2020). Казань: – 2020. – С. 276-277.

11. Kurbakov D.N., Kuznetsov V.K., Sidorova H.V., Andreeva N.V., Sarukhanov A.V., Nushtaeva V.E. Heavy metals in the snow cover in the area of the location of the Russian electrometallurgical plant LLC "NLMK-Kaluga" // Journal of Physics: Conference Series. – 2020. – 8 p.

12. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Андреева Н.В., Саруханов А.В., Новикова Н.В., Кречетникова Е.О. Оценка экологического состояния снежного покрова в 30-километровой зоне Новолипецкого металлургического комбината // Экология промышленного производства. – 2021. – № 2(114). – С. 34-40.

13. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Андреева Н.В., Саруханов А.В., Кречетникова Е.О. Оценка экологического состояния снежного покрова в 30-км зоне влияния ООО «НЛМК-Калуга» // Сборник докладов XVI Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева». Агрэкологические проблемы почвоведения и земледелия. Курск: – 2021. – С.231-234.

14. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Саруханов А.В., Дементьева Н.В., Новикова Н.В. Сравнительная оценка загрязнения тяжелыми металлами снежного покрова предприятиями черной металлургии // Экология и промышленность России. – 2022. – Т. 26, № 8. – С. 59-65.

15. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Саруханов А.В., Дементьева Н.В., Новикова Н.В. Влияние различных технологий производства черной металлургии на содержание тяжелых металлов в снежном покрове // Сборник докладов I Международной молодежной конференции «Генетические и радиационные технологии в сельском хозяйстве» Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ. – 2022. – 281 с.

16. Кречетников В.В., Кречетникова Е.О., Титов И.Е., Курбаков Д.Н., Саруханов А.В., Спиридонов С.И. Содержание ТМ в почвах, сельскохозяйственных растениях и продукции в зоне воздействия выбросов ПАО «НЛМК-Липецк» // Авторское свидетельство на базу данных № 2022623321 от 08.12.2022

17. Курбаков Д.Н., Кузнецов В.К., Сидорова Е.В., Новикова Н.В., Саруханов А.В., Дементьева Н.В. Содержание тяжелых металлов в почвах агроэкосистем зоны воздействия предприятий Липецкой промышленной агломерации // Экология промышленного производства. – 2023. – № 2 (122). – С. 59-63.

ГЛАВА 5. ИНФОРМАЦИОННАЯ ПОДДЕРЖКА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ ПО ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РЕАБИЛИТАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ НА ТЕРРИТОРИЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Существующее многообразие реабилитационных мероприятий определяет необходимость выявления среди них наиболее эффективных и обеспечивающих получение продукции растениеводства и кормов для сельскохозяйственных животных, соответствующих нормативным требованиям. Для решения этой задачи создана база данных (БД) по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами, включающая экологические и хозяйственные показатели [10, 30, 130].

5.1. База данных по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами

Главной составляющей базы данных являются таблицы для хранения информации. СУБД Access хранит все данные в одном файле, хотя и распределяет их по разным таблицам. Логическая структура базы данных в Access представлена на рисунке 28 [10].

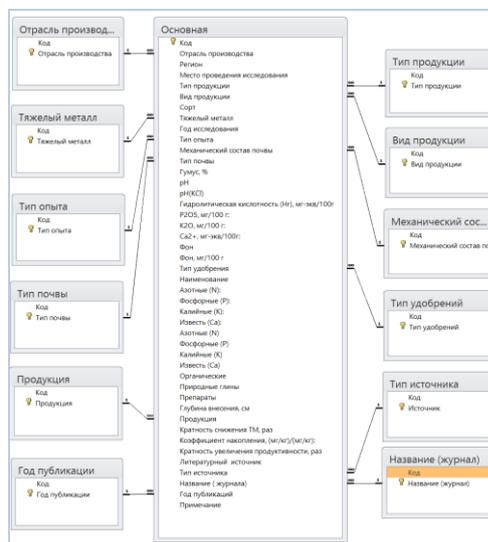


Рисунок 28 – Логическая структура базы данных в СУБД Access по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами

При создании БД необходимо учитывать специфику работы с данными в системе Access, в частности, исключать дублирование информации. В связи с этим, помимо основных таблиц, в

структуре базы данных включены вспомогательные таблицы, которые позволяют соблюдать необходимые требования и также облегчают ввод информации (таблица 51) [10, 130].

Таблица 51 – Перечень таблиц базы данных по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами

Наименование	Тип
Основная	Основная
Отрасль производства	Вспомогательная
Тяжелый металл	Вспомогательная
Тип культуры	Вспомогательная
Тип опыта	Вспомогательная
Тип почвы	Вспомогательная
Механический состав почвы	Вспомогательная
Вид удобрений	Вспомогательная
Тип литературного источника	Вспомогательная
Название (журнал)	Вспомогательная
Год публикаций	Вспомогательная
Вид продукции	Вспомогательная
Продукция	Вспомогательная

Таким образом, база данных содержит одну основную таблицу, которая заполняется информацией и вспомогательные таблицы, выступающие в роли справочных.

Помимо таблиц в состав базы данных входят формы для просмотра, редактирования и ввода информации (таблица 52). Это основной инструмент при работе по заполнению базы данных [10].

Таблица 52 – Список форм базы данных по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами

Наименование	Назначение
Форма «Вход-выход»	Начальная форма БД для выбора режима работы
Форма «Ввод и просмотр данных»	Форма для заполнения, редактирования и просмотра данных в базе
Форма «Дополнительные параметры»	Форма для выбора внесения необходимых дополнительных параметров*
Форма «Запрос данных»	Форма для поиска и просмотра интересующей информации
Форма «Отрасль производства»	Перечисление отраслей производства
Форма «Вид продукции»	Перечисление видов продукции
Форма «Тяжелый металл»	Перечисление ТМ
Форма «Тип почвы»	Перечисление типов почв
Форма «Вид удобрений»	Перечисление видов удобрения
Форма «Источник информации»	Перечисление используемых источников информации при заполнении БД
Форма «Название журнала»	Название источников информации используемых при заполнении БД
Форма «Год публикации»	Перечисление возможных лет публикации
Форма «Тип опыта»	Перечисление возможных типов опыта
Форма «Продукция»	Перечисление получаемой продукции

Наименование	Назначение
Форма «Тип культуры»	Перечисление типов культуры
Форма «Механический состав почвы»	Перечисление мех. составов почв

*Продукция, тип опыта, год публикации, название и вид источника, вид удобрения, тип почвы, ТМ, вид продукции, отрасль производства.

В таблице 53 дано описание полей Таблицы – «Основная» (рисунок 29) [10].

Таблица 53 – Поля таблицы «Основная»

Поле	Формат поля	Описание
Код	Счетчик	Уникальный, не повторяющийся номер источника
Отрасль производства	Текстовый	Отрасль производства – кормопроизводство, растениеводство
Регион	Поле МЕМО	Название региона, где проводился эксперимент
Место проведения исследования	Поле МЕМО	Название места проведения эксперимента
Тип культуры	Текстовый	Следует выбрать из раскрывающегося списка
Вид продукции	Текстовый	Следует выбрать из раскрывающегося списка
Сорт	Текстовый	Сорт сельскохозяйственной культуры
Тяжелый металл	Текстовый	Следует выбрать из раскрывающегося списка
Год исследования	Текстовый	Следует выбрать из раскрывающегося списка
Тип опыта	Текстовый	Следует выбрать из раскрывающегося списка
Механический состав почвы	Текстовый	Следует выбрать из раскрывающегося списка
Тип почвы	Текстовый	Следует выбрать из раскрывающегося списка
Гумус, %	Текстовый	Процентное содержание гумуса в почве
рН	Текстовый	рН водное
рН(КСl)	Текстовый	рН солевое
Гидролитическая кислотность (Нг), мг-экв/100г	Текстовый	Гидролитическая кислотность
P ₂ O ₅ , мг/100 г	Текстовый	Свободный фосфор
K ₂ O, мг/100 г	Текстовый	Свободный калий
Ca ²⁺ , мг-экв./100 г	Текстовый	Обменный кальций
Фон	Текстовый	Присутствие фоновых веществ во время эксперимента
Фон, мг/100 г	Текстовый	Числовое значение фоновых веществ во время эксперимента
Вид удобрения	Текстовый	Следует выбрать из раскрывающегося списка
Наименование	Текстовый	Наименование удобрений, используемых в эксперименте, например, NPK.
Азотные (N), кг/га д.в.	Текстовый	Доза вносимых азотных удобрений, численное значение
Фосфорные (P), кг/га д.в.	Текстовый	Доза вносимых фосфорных удобрений, численное значение
Калийные (K), кг/га д.в.	Текстовый	Доза вносимых калийных удобрений, численное значение
Известь (Ca), кг/га	Текстовый	Доза вносимой извести, численное значение
Азотные (N), т/га	Текстовый	Объем вносимых азотных удобрений, численное значение
Фосфорные (P), т/га	Текстовый	Объем вносимых фосфорных удобрений, численное значение

Поле	Формат поля	Описание
Калийные (К), т/га	Текстовый	Объем вносимых калийных удобрений, численное значение
Известь (Са), т/га	Текстовый	Объем вносимой извести, численное значение
Органические, т/га	Текстовый	Объем вносимых органических удобрений, численное значение
Природные глины, т/га	Текстовый	Объем вносимых глин, численное значение
Препараты, т/га	Текстовый	Объем вносимых удобрений, численное значение
Глубина внесения, см	Текстовый	Глубина внесения удобрений
Продукция	Текстовый	Получаемая продукция
Кратность снижения содержания ТМ, раз	Текстовый	Показатель эффективности технологии
Коэффициент накопления ТМ, (мг/кг)/(мг/кг)	Текстовый	Значение коэффициента накопления ТМ, численное значение
Кратность увеличения продуктивности, раз	Текстовый	Показатель эффективности технологии
Литературный источник	Поле MEMO	Источник информации
Тип источника	Текстовый	Следует выбрать из раскрывающегося списка
Название (журнала)	Текстовый	Следует выбрать из раскрывающегося списка. Например, Агрохимия, Вестник РАСХН и т.д.
Год публикаций	Числовой	Следует выбрать из раскрывающегося списка год публикации работы
Примечание	Поле MEMO	Поле зарезервировано для любой дополнительной информации о продуктивности культуры, свойствах почвы, уровне плодородия, условий эксперимента и т.д.

Отрасль прс	Регион	Место пров	Тип продук	Вид продук	Сорт	Тяжелый ме	Год исследо	Тип опыта	Механичес	Тип почвы	Гумус, %	pH	pH(KCl)	Гидролитич
Растениеводст		Кафедра агро-техническая кулен-долгунец				B	2000-2002	полевой	легкосуглини	дерново-подз	-	-	-	-
Кормопроизв	Московская об АО	"Долгопру	травы	сеяные	вики-овсяная с	Va	1933-1994	полевой	тяжелосуглини	дерново-подз	1,83	-	3,9	5,5
Кормопроизв	Московская об АО	"Долгопру	травы	сеяные	вики-овсяная с	Va	1933-1994	полевой	тяжелосуглини	дерново-подз	1,83	-	3,9	5,5
Кормопроизв	Московская об АО	"Долгопру	травы	сеяные	вики-овсяная с	Va	1933-1994	полевой	тяжелосуглини	дерново-подз	1,83	-	3,9	5,5
Кормопроизв	Московская об АО	"Долгопру	травы	сеяные	вики-овсяная с	Va	1933-1994	полевой	тяжелосуглини	дерново-подз	1,83	-	3,9	5,5
Кормопроизв	Московская об АО	"Долгопру	травы	сеяные	вики-овсяная с	Va	1972-1994	полевой	тяжелосуглини	дерново-подз	1,73	-	4,5	3,6
Кормопроизв	Московская об АО	"Долгопру	травы	сеяные	вики-овсяная с	Va	1972-1994	полевой	тяжелосуглини	дерново-подз	1,73	-	4,5	3,6
Кормопроизв	Московская об АО	"Долгопру	травы	сеяные	вики-овсяная с	Va	1972-1994	полевой	тяжелосуглини	дерново-подз	1,73	-	4,5	3,6
Кормопроизв	Московская об АО	"Долгопру	травы	сеяные	вики-овсяная с	Va	1972-1994	полевой	тяжелосуглини	дерново-подз	1,73	-	4,5	3,6
Кормопроизв	Московская об	Учебно-опытн	овощная культ	картофель	Любимец	Cd		полевой	среднесуглини	дерново-подз	2,4	6,4	-	-
Кормопроизв	Московская об	Учебно-опытн	овощная культ	картофель	Любимец	Cd		полевой	среднесуглини	дерново-подз	2,4	6,4	-	-
Растениеводст	Московская об	Учебно-опытн	овощная культ	картофель	Любимец	Cd		полевой	среднесуглини	дерново-подз	2,4	6,4	-	-
Растениеводст	Московская об	Учебно-опытн	овощная культ	картофель	Любимец	Cd		полевой	среднесуглини	дерново-подз	2,4	6,4	-	-
Кормопроизв	Московская об	Совхоз "Серп	кормовая культ	кукуруза		Cd		вегетационны	среднесуглини	дерново-подз	5,2	7,8	-	-
Кормопроизв	Московская об	Совхоз "Серп	кормовая культ	кукуруза		Cd		вегетационны	среднесуглини	дерново-подз	5,2	7,8	-	-
Кормопроизв	Московская об	Совхоз "Серп	кормовая культ	кукуруза		Cd		вегетационны	среднесуглини	дерново-подз	5,2	7,8	-	-
Кормопроизв	Московская об	Совхоз "Серп	кормовая культ	кукуруза		Cd		вегетационны	среднесуглини	дерново-подз	5,2	7,8	-	-
Растениеводст	Владимирская		зерновая культ	ячмень		Cd	1992-1994	полевой	супесчаная	дерново-подз	1,02	-	6,3	0,8
Растениеводст	Владимирская		зерновая культ	ячмень		Cd	1992-1995	полевой	супесчаная	дерново-подз	1,02	-	6,3	0,8
Растениеводст	Владимирская		зерновая культ	ячмень		Cd	1992-1996	полевой	супесчаная	дерново-подз	1,02	-	6,3	0,8
Растениеводст	Владимирская		зерновая культ	ячмень		Cd	1992-1997	полевой	супесчаная	дерново-подз	1,02	-	6,3	0,8

Рисунок 29 – Таблица «Основная» в СУБД Access по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами

В БД по эффективности стандартных и реабилитационных технологий ведения растениеводства и кормопроизводства на территориях, загрязненных тяжелыми металлами, содержится 12 вспомогательных таблиц [10]:

1. Отрасль производства – растениеводство, кормопроизводство;
2. Тип продукции – зерновые, кормовые сеяные и естественные, овощные, технические и т.д.;
3. Вид продукции – тритикале, свекла, редис, лук, картофель, гречиха, ячмень, салат и т.д.;

4. Тяжелый металл – As, Cd, Hg, Pb, Zn, Co, Ni, Cu, Mo, Cr, Sr, Ba, Mn и т.д.;
5. Тип опыта – полевой, вегетационный, лабораторный и т.д.;
6. Тип и вид почв – серая лесная, дерново-подзолистая, чернозем выщелоченный и т.д.;
7. Агрохимический состав почв - глинистый, тяжело-, средне- и легкосуглинистый, супесчаный, песчаный, рН, Гумус т.д.;
8. Тип удобрений - минеральные, органические, органо-минеральные и др.;
9. Продукция - зеленая масса, сено, солома и т.д.;
10. Тип литературного источника - журнал, материалы конференций, монографии, диссертация и т.д.;
11. Название (журнал) - Агрохимия, Доклады РАСХН, Плодородие и т.д.;
12. Год публикации - 1986-2022.

Каждая таблица имеет поле «Код», имеющее формат «счетчик» и предназначено для нумерации позиций ключевого поля и исключения дублирования информации.

Вспомогательные таблицы «Вид продукции», «Тяжелый металл», «Тип почв», «Механический состав почвы», «Продукция», «Название (журнал)», «Год публикации» могут быть дополнены [10].

Внесение и просмотр данных. При нажатии кнопки «Внесение и просмотр данных» в главном меню базы (рисунок 30) откроется соответствующая форма (рисунок 31). Работа с данными (изменение, просмотр, внесение новых данных) осуществляется с помощью этой формы [10].



Рисунок 30 – Главное окно БД по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных ТМ

Рисунок 31 – Окно формы «Внесение и просмотр данных»

Запрос данных. При нажатии кнопки «Запрос данных» в главном меню БД, открывается форма (рисунок 32). В форме можно проводить сортировку или применить фильтр записей. Для этого необходимо выделить нужный столбец и нажать на . В открывшемся списке выбрать вариант сортировки или, если нужно создать фильтр (отметить требуемый параметр) [10].

Рисунок 32 – Форма «Запрос данных», выполнение запроса и сортировки

Ввод дополнительных параметров. Форма «Ввод дополнительных параметров»

предназначена для выбора и внесения новых параметров в данные, которые выпадают из раскрывающегося списка. Например «Вид продукции» (рисунок 33) [10].

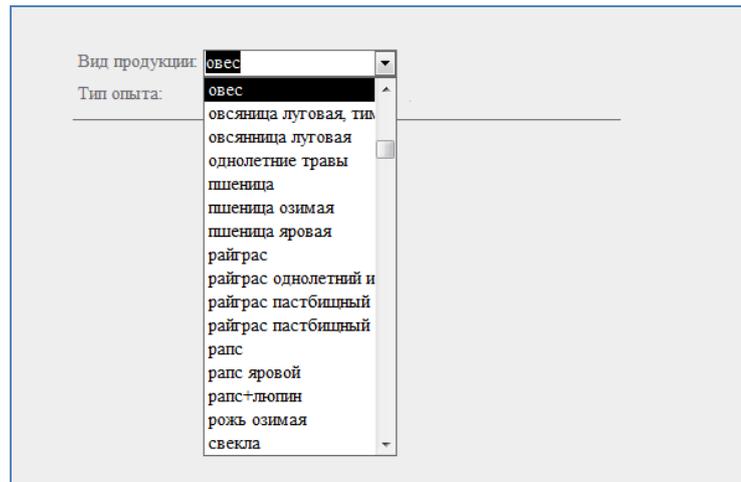


Рисунок 33 – Раскрывающийся список «Вид продукции»

Формы, находящиеся в меню «Ввод дополнительных параметров» имеют одинаковую структуру. Ключевые особенности - эта форма имеет одно поле для внесения новой информации (рисунок 34) [10].

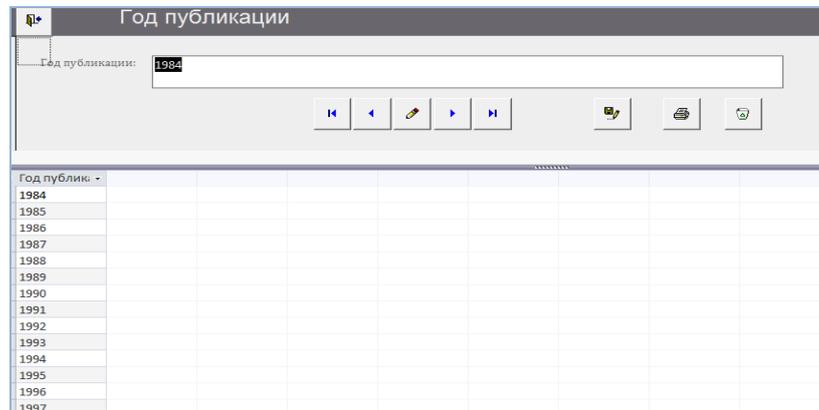


Рисунок 34 – Форма «Год публикаций» из меню «Внесение дополнительных параметров»

5.1.1. Анализ информации в базе данных по эффективности реабилитационных технологий на территориях, загрязненных тяжелыми металлами

В настоящий момент число записей в БД по эффективности стандартных и реабилитационных технологий ведения растениеводства и кормопроизводства на территориях, загрязненных ТМ составляет 3809. Из них число записей, опубликованных в журналах – 82%, материалах конференций – 12%, диссертациях – 5% и менее 1% составляют данные из монографий и сборников докладов (рисунок 35) [10, 28-29, 35, 130, 132-133].

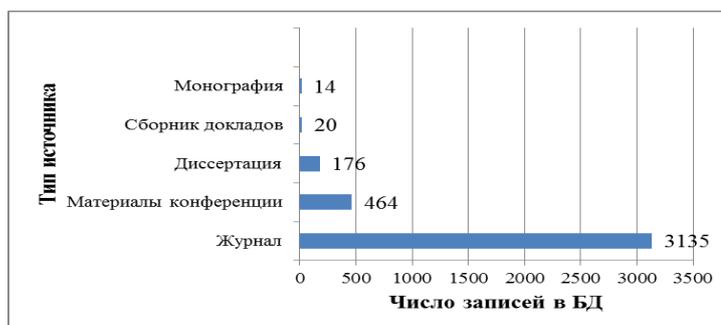


Рисунок 35 – Распределение источников записей в БД по эффективности стандартных и реабилитационных технологий ведения сельского хозяйства на территориях, загрязненных ТМ

Наибольшее количество записей относится к исследованиям в регионах Российской Федерации – около 94%. Оставшиеся 6% это исследования, проводимые в Республике Беларусь (в основном Гомельская и Могилевская области), Литве, Италии, Вьетнаме, Эстонии. В России экспериментальные опыты были проведены в Московской, Брянской, Архангельской, и Калужской областях [10, 28-29, 35, 130, 132-133].

В области применения стандартных и реабилитационных технологий ведения земледелия на территориях, загрязненных ТМ, наиболее интенсивно исследования проводились в 1994 г. – число записей составило 895, что соответствует 24% от общего числа имеющихся данных. Наименьшее количество информации по данной тематике отмечено в 2013 году – 4 записи [10, 28-29, 35, 130, 132-133].

Около 78% исследований, представленных в БД, проводилось на дерново-подзолистых почвах, 15% записей составили описания экспериментов на черноземах. На серых лесных почвах было проведено около 4% исследований. Прочие типы почв: песчаные, дерново-карбонатные, торфяные, пойменные, на которых проводились исследования, совместно составили около 3% записей в БД [29].

Среди тяжелых металлов наибольшее количество записей по уменьшению их перехода в растениеводческую продукцию при использовании агроулучшителей соответствует: Cd (24,4%), Pb (19,4%), Zn (16,7%), Cu (12,7%), Ni (9,7%) (рисунок 36).

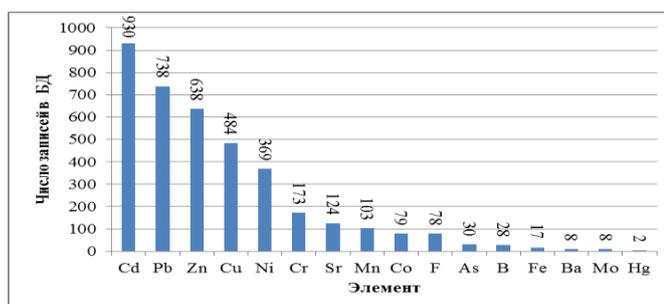


Рисунок 36 – Число записей по элементам в БД по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных ТМ

В БД собрана информация о влиянии агрохимических приемов на снижение перехода ТМ в сельскохозяйственную продукцию для различных культур: зерновые (яровая и озимая пшеница, овес, ячмень, кукуруза), овощные (картофель, свекла, горох, морковь) и луговую растительность (естественные и сеяные травы). Анализ информации в БД показывает, что количество записей о снижении поступления ТМ в продукцию при внесении удобрений составили: картофель (19,4%), ячмень (14,4%), овес (12,7%), рожь озимая (5,4%) и т.д. (рисунок 37) [10, 28-29, 35, 130, 132-133].

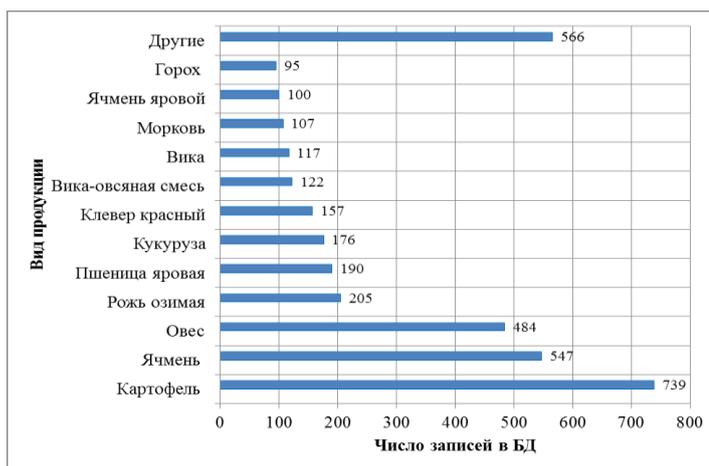


Рисунок 37 – Число записей БД об эффективности реабилитационных технологий на территориях, загрязненных ТМ по видам сельскохозяйственной продукции

Распределение числа записей в БД по видам удобрений выглядит следующим образом: 68,4% исследований составляет изучение эффективности использования минеральных удобрений – азотных, фосфорных и калийных; 17,5% - органические удобрения, 7,5% - применение препаратов, комбинированное применение удобрений (органические, минеральные, препараты) – 6,6%. Органические удобрения в большинстве случаев применялись совместно с минеральными (рисунок 38) [10, 28-29, 35, 130, 132-133].

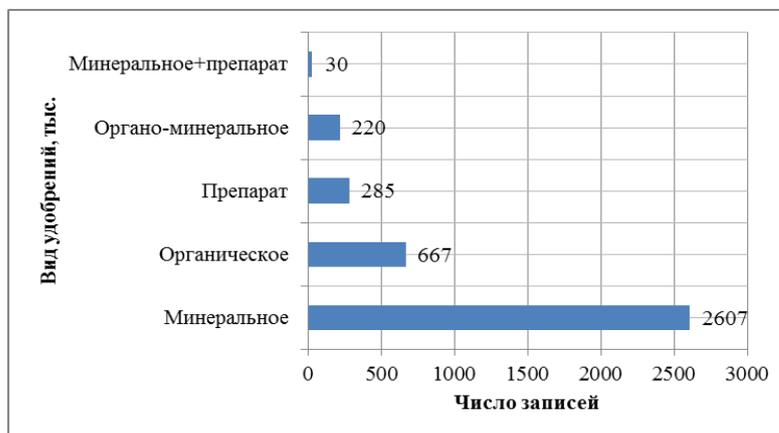


Рисунок 38 – Число записей в БД об эффективности реабилитационных технологий на территориях, загрязненных ТМ, по видам удобрений

Анализ собранной в базе данных обширной научной информации позволяет оценивать не только изменение эффективности агрохимических технологий по снижению накопления ТМ в сельскохозяйственной продукции в зависимости от доз агроулучшителей, но и разрабатывать оптимальную систему их применения с учетом специфики ведения растениеводства и кормопроизводства на почвах, различных по физико-химическим свойствам.

5.2. Компьютерная система поддержки принятия решений по оценке эффективности реабилитационных технологий на территориях, загрязненных тяжелыми металлами

К настоящему времени как зарубежными, так и российскими учеными для решения проблем мониторинга и реабилитации сельскохозяйственных и лесных территорий, подвергшихся техногенному загрязнению, разработаны целый ряд моделей и компьютерных систем (поддержки принятия решения, геоинформационные (ГИС)) по оценке и прогнозированию техногенного загрязнения («Роло» - предназначена для экологических расчетов, анализа экстремальных ситуаций [37]; УПРЗА «Эколог» (Фирма "Интеграл, Санкт-Петербург) – программа расчета загрязнения атмосферы [38]; *RECASS* (НПО «Тайфун», Обнинск) – программа поддержки принятия решений в условиях загрязнения природной среды при радиационных, химических авариях, а также при выбросах вулканического пепла и продуктов горения лесных и торфяных пожаров [39].

Экологические проблемы часто требуют незамедлительных и адекватных действий, эффективность которых напрямую связана с оперативностью обработки и представления информации. При комплексном подходе, характерном для экологии, обычно приходится опираться на обобщающие характеристики окружающей среды, вследствие чего, объемы даже минимально достаточной исходной информации, несомненно, должны быть большими [29, 162].

На основе БД по эффективности стандартных и реабилитационных технологий при ведении сельского хозяйства на территориях, загрязненных ТМ и ГИС систем экологического мониторинга территорий загрязненных ТМ [37-39], разработана СППР «Оценка эколого-экономической эффективности реабилитационных технологий в хозяйствах, расположенных на территориях, загрязненных тяжелыми металлами» (ОЭРТ-ТМ), направленная на обоснование и определение реабилитационных технологий с оценкой экологических показателей и экономической рентабельности их применения. Межотраслевой опыт показал высокую эффективность использования аналогичных СППР и ГИС.

Назначение СППР ОЭРТ-ТМ:

– анализ и оценка экологической ситуации на территориях, загрязненных ТМ;

- прогнозирование экологической ситуации на техногенно загрязненных территориях;
- выработка управленческих решений по применению стандартных и реабилитационных технологий ведения сельского хозяйства на территориях, загрязненных тяжелыми металлами;
- экономическая оценка рентабельности применения стандартных и реабилитационных технологий.

Моделирование реабилитационных технологий проводится с учетом агрохимических свойств почв и хозяйственных условий сельхозпроизводства. Анализ эффективности заданных сценариев использования агроулучшителей и выбор наиболее оптимальных вариантов их внедрения осуществляется с учетом возможности применения реабилитационных технологий (например, наличия необходимых ресурсов, денежных средств и т. д.). В результате появляется возможность определить эффективность запланированных или проводимых реабилитационных технологий [2].

Созданная СППР представлена в виде файла *MS Excel* и оснащена удобным пользовательским интерфейсом. Для создания СППР использовались стандартные функции *MS Excel* (или, и, если и т.д.). Для корректной работы модуля использовался Microsoft Visual Basic (создание макросов) и элементы ActiveX (создание раскрывающихся списков, кнопок). Разработанная СППР имеет следующие особенности [2, 10, 28-29, 35, 130, 131-133]:

- отражает основные этапы предложенного методологического подхода;
- включает широкий набор реабилитационных технологий для анализа;
- имеет открытую структуру с возможностью корректировки параметров и внесением новых характеристик сельскохозяйственного предприятия и почв;
- структура СППР включает современные данные по требованиям к содержанию ТМ в сельхозпродукции (СанПин 2.3.2.1078-01, ГН 2.1.7.2041-06) [82, 92];
- имеет удобный пользовательский интерфейс с функцией подсказок и не требует специального обучения пользователей;
- предназначена для пользователей, осуществляющих планирование реабилитационных технологий, обеспечивающих производство сельхозпродукции на территориях, загрязненных ТМ (руководители сельскохозяйственных предприятий, специалисты агрохимической службы и др.) [2].

Меню СППР включает в себя два взаимосвязанных блока (листа): «Основная» и «Эколого-экономическая эффективность».

«**Основная**» – является блоком начала работы с программой, содержит 3 основных поля (рисунок 39):

– «Характеристика хозяйства», – окна данных об административных характеристиках сельхозпредприятия (страна, область, район, название организации, площадь участка). В этом поле также автоматически создается дата проведения расчетов;

– «Характеристика участка», – для внесения данных, характеризующих сельскохозяйственное производство на исследуемом участке (отрасль производства, вид продукции, продукция, агрохимические характеристики почвы, загрязнитель, содержание ТМ в почве и растительности). Необходимо отметить, что каждое окно для ввода данных выделено цветом и имеет подсказку при наведении на него курсора. Это дает возможность избежать ошибок и пропуска ввода первичных данных.

– «Анализ данных». Обработка первичной информации проводится после ввода всей необходимой информации, характеризующей исследуемый участок. В поле «Анализ данных» автоматически представляются заложенные в программе показатели: государственные нормативы и санитарно-гигиенические нормативы для производимой сельскохозяйственной продукции и почв, кратность превышения норматива в продукции и почве [2].

Оценка эколого-экономической эффективности реабилитационных технологий в хозяйствах, расположенных на территориях, загрязненных тяжелыми металлами

Заполните все поля со *

Характеристика хозяйства

Страна*:

Область*:

Район*:

Хозяйство*:

Площадь, га*:

Урожайность, т/га*:

Дата: 25.07.2018

Характеристика участка

Тип продукции*

Отрасль производства*

Вид продукции*

Загрязнитель, ТМ*

Продукция*

Тип почвы*

Механический состав*

Концентрация ТМ, мг/кг в почве*

рН*

Гумус, %*

Концентрация ТМ, мг/кг в рас.*

P2O5, мг/100 г

K2O, мг/100 г

Ca2+

Анализ данных

Гигиенический норматив для Ni в почве (ГН 2.1.7.2041-06)	мг/кг	МДУ для Cu, Ni, Zn, Cr
Гигиенический норматив для Ni в картофеле (СанПин 2.3.2.1078-01)	мг/кг	
Превышение гигиенического норматива в почве	раз(а)	
Превышение гигиенического норматива в растительности		
Риск превышения нормативов при производстве с/х продукции		

Требуется проведение реабилитационных технологий

Произвести подбор реабилитационных технологий

Рисунок 39 – Пример блока начала работы с программой «Основное»

В общем случае работа такой системы выглядит следующим образом: проводится мониторинг состояния агроэкосистем, устанавливаются основные загрязнители, агрохимические

характеристики почвы и состав выращиваемых сельскохозяйственных культур. Далее информация об экологической обстановке сельскохозяйственного участка вносится в бланк СППР (рисунок 39).

В случае, если наблюдается превышение санитарно-гигиенического норматива [92] в производимой на участке сельскохозяйственной продукции или существует риск такого превышения, в СППР появляется окно «Требуется проведение реабилитационных технологий», в противоположном случае появляется окно «Реабилитационные технологии не требуются (возможно проведение стандартных технологий для повышения продуктивности)» [2].

Следующий шаг – это подбор реабилитационных технологий в блоке «Эколого-экономическая эффективность» (рисунок 40).

Оценка эффективности реабилитационных технологий при ведении растениеводства и кормопроизводства на территориях, загрязненных тяжелыми металлами			
Характеристика хозяйства		Дата	
Хозяйства			
Район			
Область			
Страна			
Характеристика участка			
Отрасль производства:			
Тип продукции:			
Вид продукции:			
Продукция:			
Тип почв:		P2O5, мг/100 г:	
Механический состав :		K2O5, мг/100г:	
pH:		Ca2+:	
Гумус, %:		Загрязнитель, ТМ:	
Концентрация	в почве (до применения РТ), мг/кг:		
Концентрация	в растительности (до применения РТ), мг/кг:		
Стоимостные затраты			
N (аммиачная селитра 35%)		руб./т	Навоз
P (двойной суперфосфат 40%)		руб./т	Изв. М(СаСо3)
K (калийная соль 40%)		руб./т	
Актуальность цен можно проверить на https://flagma.ru и https://leroymerlin.ru			
Стоимость технологических операций (хранение, подготовка к внесению, доставка, внесени):			руб/т
Цена реализации продукции	Соответствующая нормативу		руб/т
	Не соответствующая нормативу		руб/т
Затраты на уборку дополнительного урожая:			руб/т
Рекомендуемые реабилитационные технологии			
Доза удобрений, кг/га	Кратность снижения ТМ, раз	Увелич. продуктив., раз	№
Выберите реабилитационную технологию, №			
Показатели рентабельности реабилитационных технологий			
Экологические критерии	Концентрация ТМ в с/х прод. после применения РТ, мг/кг		
	Продукция не соответствующей нормативу,%		
аффективности	Продукция соответствующая нормативу, %		
	Урожайность, т/га		
Экономические критерии	Урожайность, %		
	Дополнительный доход, руб		
аффективности	Стоимость продукции, руб/га		
	Затраты связанные с технологией, т/га		
	Прибыль от реализации С/Х продукции, ц/га		
	Рентабельность дополнительных затрат,%		
Печать отчета			

Рисунок 40 – Пример блока «Эколого-экономическая эффективность»

Блок эколого-экономическая эффективность. Для оценки эффективности реабилитационных технологий в сельскохозяйственном производстве необходимо ввести в данном блоке актуальные данные по экономическим показателям (таблица 54-55; рисунок 41) [2]:

– затраты на применение агроулучшителей, (аммиачная селитра, двойной суперфосфат, калийная соль, известняковая мука, навоз, и др.), а также стоимости технологических операций (хранение, подготовка к внесению, доставка к объекту, внесение, дискование, вспашка, культивация, посев семян, прикатывание и др.) [2];

– цена реализации сельскохозяйственной продукции (соответствующей и несоответствующей санитарно-гигиеническому нормативу) [2];

– затраты на уборку дополнительного урожая (уборка, транспортировка, доработка, хранение, реализация) [2].

Таблица 54 – Экономические параметры, используемые в расчетах СППР [162-164], февраль 2021 года), руб./т

Показатель	Стоимость
Аммиачная селитра (N)	15500
Двойной суперфосфат (P)	23000
Калийная соль (K)	17000
Известняковая мука (Ca)	1500-2000
Навоз (органика)	200
Стоимость технологических операций (хранение, подготовка к внесению, доставка на поле, внесение)	200-2000
Затраты на уборку дополнительного урожая (уборка, транспортировка, доработка, хранение, реализация)	1500-6000

Таблица 55 Цена реализации продукции, использованная при расчетах в СППР [162], февраль 2021 года), руб./т

Продукция	Цена продукции	
	соответствующей нормативу	не соответствующей нормативу
Зерно пшеницы	11550-18080	4200-11000
Зерно ячменя	9937-14200	5300-9000
Картофель	12000-21000	2000-6000

После ввода экономических показателей и внесения данных в основной блок СППР автоматически происходит подбор нескольких эффективных реабилитационных технологий исходя из агрохимических показателей почвы, типа производимой продукции и ТМ. СППР предоставляет выбор технологии, руководствуясь критериями кратности снижения ТМ и урожайности. После выбора технологии СППР рассчитывает [2]:

- содержание ТМ после применения реабилитационных технологий;
- соответствие продукции нормативу;
- урожайность;
- дополнительный доход;
- затраты, связанные с технологией;
- прибыль от реализации с/х продукции;

– рентабельность дополнительных затрат.

Завершающим этапом выбора и оценки реабилитационных технологий является печать отчета. Для этой цели в блоке «Эколого-экономическая оценка» имеется кнопка «Печать отчета» [2].

Структура компьютерной системы поддержки принятия решений является открытой, и пользователь, при необходимости, может добавлять характеристики как уже апробированных технологий, так и инновационных.

Данные из базы данных и СППР «ОЭРТ-ТМ» могут быть использованы для поиска эффективных реабилитационных технологий возделывания различных сельскохозяйственных культур на почвах с отличающимся агрохимическим и механическим составом [2]. Для апробации СППР и подтверждения ее эффективности в поиске оптимальных реабилитационных мероприятий при выращивании сельскохозяйственной продукции выбрано хозяйство ООО «Россия» расположенного в зоне влияния ПАО «Новолипецкого металлургического комбината» (НЛМК) Липецкой области».

По результатам исследований 5 главы опубликованы работы:

1. Курбаков Д.Н., Панов А.В. Создание базы данных по эффективности технологий ведения сельскохозяйственного производства на территориях, загрязненных тяжелыми металлами // XI Региональная научн. конференция «Техногенный системы и экологический риск». Обнинск. – 2014. – С.46-48.
2. Курбаков Д.Н. Оценка эколого-экономической эффективности технологий ведения сельскохозяйственного производства на территориях, загрязненных тяжелыми металлами. Москва: МИФИ. – 2014. – 160 с.
3. Курбаков Д.Н., Панов А.В. Сбор и обобщение информации о реабилитационных технологиях по снижению накопления тяжелых металлов в сельскохозяйственных растениях на техногенно загрязненных территориях // XI Международная научно-практическая конференция "Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков". Новосибирск: – 2015. – С. 71-76.
4. Курбаков Д.Н., Панов А.В., Сотникова Н.А. База данных по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами // Руководство пользователя. ISBN 978-5-903386-44-4. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ. – 2016. – 32 с.
5. Курбаков Д.Н., Панов А.В., Сотникова Н.А. Эффективность реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами // Авторское свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2017620776. От 18.08.2017.

6. Курбаков Д.Н., Панов А.В., Сотникова Н.А. База данных по эффективности технологий ведения земледелия на территориях, загрязненных тяжелыми металлами // АгроЭкоИнфо. – 2017. – №3. – 9 с.
7. Курбаков Д.Н., Панов А.В. Обзор базы данных по эффективности технологий ведения земледелия на территориях, загрязненных тяжелыми металлами // Современные проблемы радиобиологии и радиэкологии: сборник докладов молодежного круглого стола в рамках XLVI международных радиэкологических чтений, посвященным действующему члену ВАСХНИЛ В.М. Ключковскому. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ. – 2017. – 159 с.
8. Курбаков Д.Н., Панов А.В., Куртмулаева В.Э., Микаилова Р.А. Реабилитационные технологии для производства экологически безопасной сельскохозяйственной продукции на территориях, загрязненных тяжелыми металлами // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия. Сборник докладов международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева». Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ. – 2018. – С. 235-239.
9. Курбаков Д.Н., Панов А.В., Кузнецов В.К. Оценка эффективности технологических приемов ведения растениеводства на территориях, загрязненных тяжелыми металлами (на примере Новолипецкого металлургического комбината) // Проблемы агрохимии и экологии. – 2018. – № 2. – С.54-59.
10. Курбаков Д.Н., Панов А.В., Кречетников В.В., Микаилова Р.А., Нуштаева В.Э. Система поддержки принятия решения по оптимизации применения реабилитационных технологий на территориях, загрязненных тяжелыми металлами // Проблемы устойчивого развития и эколого-экономической безопасности регионов. XIV Международная научно-практическая конференция. Волгоград: – 2019. – С 26-31.
11. Санжарова Н.И., Цыгвинцев П.Н., Анисимов В.С., Гераськин С.А., Кузнецов В.К., Лой Н.Н., Пименов Е.П., Панов А.В., Ратников А.Н., Санжаров А.И., Гончарова Л.И., Свиреденко Д.Г., Арышева С.П., Анисимова Л.Н., Дикарев А.В., Попова Г.И., Переволодская Т.В., Суслов А.А., Фригидова Л.М., Васильев Д.В., Курбаков Д.Н., Спиридонов С.И. Тяжелые металлы в агроценозах: миграция, действие, нормирование. Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ. – 2019. – 398 с.
12. Курбаков Д.Н., Панов А.В., Кречетников В.В. Автоматизация выбора оптимальных технологий ведения земледелия на территориях, загрязненных тяжелыми металлами // XV Международная научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева. Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия». Курск: – 2020. – С. 201-204.

ГЛАВА 6. КОМПЛЕКСНОЕ ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРИЕМОВ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР НА ТЕРРИТОРИЯХ, ЗАГРЯЗНЕННЫХ ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ

Для оценки экологической и экономической эффективности реабилитационных технологий на основе анализа собранной из литературных источников и обобщенной в БД научной информации было отобрано 25 альтернативных агрохимических приемов, направленных на производство продукции растениеводства, отвечающей санитарно-гигиеническим нормативам на дерново-подзолистых почвах и чернозёмах. Для выделенных технологий определялись два ключевых показателя: кратность снижения содержания ТМ в продукции (экологическая эффективность) и возможное увеличение урожайности сельскохозяйственных культур (для оценки экономической эффективности) [2].

В базе данных сгруппирована информация по эффективности агрохимических технологий для 16 ТМ. Для создания системы поддержки принятия решения (СППР) использовали ТМ относящиеся к 1 и 2 классу опасности (Pb, Cd, Cu, Ni, Zn, Cr). Такой выбор связан с тем, что эти ТМ вызывают наибольшие биологические эффекты, являются наиболее изученными и нормируются в почве, растительности и продуктах питания. Так же в базе данных сгруппирована информация о влиянии агрохимических мероприятий на культуры, произрастающие в условиях, загрязнения ТМ. Всего собрана информация о 36 сельскохозяйственных культур. В работе использованы данные о снижении ТМ в картофеле, пшенице и ячмене, как в культурах наиболее распространенных на территории РФ. В таблице 56-58 отобраны технологии только с положительными кратностями снижения тяжелых металлов в растительности.

Таблица 56 – Экологическая эффективность применения минеральных и органических удобрений по снижению накопления ТМ в клубнях картофеля в зависимости от комбинации доз удобрений и свойств почв (средние по базе данных значения)

Дозы удобрений	Кратность снижения накопления ТМ в картофеле, раз					
	Ni	Cr	Zn	Pb	Cd	Cu
<i>Дерново-подзолистые почвы</i>						
N ₆₀ P ₈₀ K ₈₀	1,14	1,46	-	-	1,77	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₁₈	1,19	2,17	1,1	-	1,51	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₂₀	1,26	2,17	-	-	1,97	-
N ₉₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	1,26	1,14	1,36	1,23	1,16	-
N ₁₀₀ P ₈₀ K ₈₀	-	-	1,12		1,15	1,11
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	-	-	1,08	1,14	1,29	1,20
N ₁₅₀ P ₆₀ K ₁₈₀	-	-	1,73	1,67	-	1,83
N ₂₂₅ P ₉₀ K ₂₇₀	-	-	1,64	-	-	1,53
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +10 навоз	-	-	5,52	2,93	5,22	3,33

N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ +60 навоз	-	-	4,89	1,05	-	3,31
N ₇₅ P ₃₀ K ₉₀ + 40 навоз т/га	-	-	1,43	-	-	1,45
N ₉₀ P ₉₀ K ₁₁₈ +20 т/га навоз	1,53	1,80	-	1,16	2,00	-
Навоз 10 т/га	1,53	1,7	-	1,10	1,84	-
Навоз 20 т/га	1,53	1,8	-	1,30	2,00	-
Навоз 40 т/га	-	-	1,96	1,18	-	1,16
Навоз 44 т/га	-	-	1,10	1,50	-	-
Навоз 66 т/га	-	-	3,20	2,59	-	1,08
Навоз 80 т/га	-	-	3,91	-	1,31	2,37
Навоз 93 т/га	-	-	3,91	-	-	1,08
Черноземы						
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,24	-	1,02	-	1	1,09
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + навоз 20 т/га	1,67	-	1,08	1,14	1,31	1,13
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + известь 6 т/га	1,45	-	1,17	1,36	1,70	1,23
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀ + навоз 20 + известь 6 т/га	1,19	-	1,11	1,13	1,44	1,22
Навоз 20 т/га	1,52	-	1,15	1,81	1,52	1,14
N ₃₀ P ₃₀ K ₃₀	1,1	-	-	-	-	-

Таблица 57 – Экологическая эффективность применения минеральных и органических удобрений по снижению накопления ТМ в зерне пшеницы от комбинации доз удобрений и свойств почв (средние по базе данных значения)

Дозы удобрений	Кратность снижения накопления ТМ в зерне пшеницы, раз					
	Ni	Cr	Zn	Pb	Cd	Cu
Дерново-подзолистые почвы						
N ₁₂₀ K ₁₂₀	-	-	1,1	-	-	1,03
N ₆₀ P ₈₀ K ₈₀	1,6	-	-	1,03	1,15	-
N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	-	-	1,02	-	-	-
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	-	-	1,34	-	-	2,27
N ₃₉₀ P ₃₉₀ K ₃₉₀	-	-	1,05	-	-	-
Навоз 10 т/га	1,1	-	-	1	1	-
Навоз 20 т/га	-	-	-	-	-	1,07
Черноземы						
N ₆₀ P ₆₀ K ₄₀	1,01	-	-	-	-	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	1,1	-	1,03	1,38	1,5	1,32
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	1,09	-	1,05	1,5	1,5	1,32
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + навоз 30 т/га	-	-	1,25	-	1,5	1,48
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + навоз 60 т/га	-	-	-	1,64	-	-
Навоз 30 т/га	1,2	-	1,89	1,64	1,5	1,09

Таблица 58 – Экологическая эффективность применения минеральных и органических удобрений по снижению накопления ТМ в зерне ячменя на дерново-подзолистых почвах, раз (средние по базе данных значения)

Дозы удобрений	Кратность снижения накопления ТМ в зерне ячменя, раз					
	Ni	Cr	Zn	Pb	Cd	Cu
N ₆₀ P ₈₀ K ₈₀	1,07	-	-	1,02	1,1	1,03

N ₉₀ P ₉₀ K ₉₀	-	1,51	1,02	1,05	1,1	1,25
N ₉₀ K ₉₀	-	1,74	1,1	1,1	1,09	1,13
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	-	-	1,45	-	-	1,37
N ₃₉₀ P ₃₉₀ K ₃₉₀	-	-	1,05	-	-	1,02
N ₁₂₀ K ₁₂₀	-	-	1,1	-	-	1,14
Навоз 10 т/га	1,13	-	-	-	1,06	-
Навоз 20 т/га	1,15	-	-	-	-	1,05
Известь 6 т/га	1,14	-	-	-	-	-

6.1. Анализ эффективности реабилитационных мероприятий на угодьях бывшего сельскохозяйственного предприятия ООО «Россия»

Для снижения риска загрязнения надземной части посевов ТМ целесообразно на первом этапе рассмотреть применение наиболее доступных технологических приемов, к которым относятся организационные и ограничительные мероприятия.

6.1.1. Организационные и ограничительные мероприятия

При аэральном поступлении ТМ на посевы, характерном для сельскохозяйственных угодий ООО «Россия», расположенных в ближней зоне ПАО «НЛМК», большое значение имеет время прошедшее после выброса токсикантов. Периоды самоочищения растений составляют около двух недель [1] (поверхностное загрязнение). В качестве защитного приема необходимо использовать изменение сроков уборки урожая, если поступила информация о значительном выбросе токсикантов в атмосферу. Если зарегистрирован факт выброса поллютантов в атмосферу, то целесообразно перенести уборочные работы на 1-2 недели [58].

В качестве организационного мероприятия необходимо использовать изменение структуры землепользования. Например, учитывая более высокие уровни загрязнения посевов на расстоянии 3-10 км от источника поступления ТМ, разместить на близлежащих к нему угодьях культуры, хозяйственно-ценная часть которых находится в почве (корне- и клубнеплоды). На территории ООО «Россия» такие угодья находятся около населенных пунктов Фашевка и Казинка (Отделение 1). Для кормовых угодий подбираются участки, наиболее удаленные от источника выбросов.

6.1.2. Технологические приемы возделывания зерновых культур при высоких уровнях загрязнения почв тяжелыми металлами

Мероприятия представленные ниже являются гипотетическими для территорий бывшего ООО «Россия», так как в настоящее время превышений содержания ТМ в почвах нет, превышение в продукции обуславливается аэральными выпадениями.

Зерновые культуры характеризуются невысокими коэффициентами накопления ТМ, что дает возможность возделывать их при достаточно больших концентрациях загрязнения ТМ [84, 139, 157].

В рамках традиционных технологий возделывания зерновых культур выделяют мероприятия, которые способствуют снижению накопления ТМ в растениях, в частности, - известкование кислых почв, внесение оптимальных доз минеральных удобрений, применение органических удобрений. Известкование загрязненных ТМ кислых почв, способствует снижению их поступления в зерновые культуры в 1,1-2,0 раза, а применение органических удобрений - в 1,2-2,5 раза в зависимости от уровня плодородия и агрохимических характеристик почвы [10, 28, 58]

Комплексное применение органических и минеральных удобрений ($N_{90-135}P_{60-90}K_{90-120}$) является более эффективным приемом получения зерна с наименьшим содержанием ТМ, чем внесение одних минеральных удобрений. При этом азотные удобрения должны вноситься в расчете на планируемый урожай, так как их повышенные дозы приводят к увеличению перехода ТМ в продукцию. Сбалансированное внесение азотных, фосфорных и калийных удобрений в соотношении $N:P:K=1:1:1,5$ и $N:P:K=1:1,5:2$ позволяет получать продовольственное зерно в соответствии с СанПиН 2.3.2.1078-01 по содержанию ТМ или снизить их содержание в 1,1-2,5 раза [10, 28, 33, 58].

Из всего вышесказанного следует, что применение оптимальных реабилитационных технологий с учетом агрохимических характеристик почв и производимой продукции повышает урожайность, позволяет фиксировать избыточное количество ТМ в почвенно-поглощающем комплексе, тем самым не позволяя переходить ТМ из почвы в растения и далее по пищевой цепочке.

Пользуясь данными экологического мониторинга ООО «Россия» и базой данных по эффективности реабилитационных технологий ведения сельского хозяйства на территориях, загрязненных ТМ, отобраны реабилитационные технологии на основании кратности снижения ТМ в продукции и увеличении продуктивности сельскохозяйственных угодий.

Для производства пшеницы в условиях загрязнения Zn эффективно применение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$ совместно с органическими удобрениями (навоз 30 т/га), менее эффективно внесение одних органических удобрений (навоз 30 т/га). В условиях загрязнения Cr эффективно применение минеральных удобрений в дозах $N_{90}P_{90}K_{90}$, при загрязнении Ni эффективно применение органических удобрений (30 т/га навоза) и минеральных в дозах $N_{60}P_{80}K_{80}$, при загрязнении Cd эффективно применение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$, при загрязнении Pb эффективно применение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$ (таблица 59).

Затраты связанные с применением данных агрохимических мероприятий колеблются в пределах от 6 до 19 тыс. руб./га (в ценах 2021 г.).

Таблица 59 – Эколого-экономическая эффективность возможных реабилитационных мероприятий по производству яровой пшеницы на территории ООО «Россия», Липецкой области (в ценах 2021 г.).

ТМ	N, кг/га	P ₂ O ₅ , кг/га	K ₂ O, кг/га	CaCO ₃ , т/га	Навоз, т/га	КС ТМ, раз	Возможное увеличение урожайности, раз	Затраты тыс. руб./га	Рентабельность, %	
									Соотв.	Не соотв.
Zn	90	90	90	-	-	1,0	1,3	14,3	11	-59
Zn	120	120	120			1,1	1,3	19,0	-11	-64
Zn	60	60	60	-	30	1,3	1,5	9,7	55	-48
Zn	30	30	30	6	-	1,2	1,2	13,9	7	-60
Zn	-	-	-	-	30	1,8	1,2	6,2	15	-35
Cr	60	60	60	-	-	1,1	1,2	9,7	55	-48
Cr	90	90	90	-	-	1,1	1,3	14,3	11	-49
Cr	90	90	120		-	1,3	1,3	15,7	3	-61
Ni	60	60	40	-	-	1,0	1,3	8,7	70	-45
Ni	60	60	60	-	-	1,1	1,3	9,7	55	-48
Ni	60	80	80	-	-	1,5	1,2	11,8	31	-54
Ni	120	120	120	-	-	1,1	1,2	19,0	-11	-64
Ni	-	-	-	-	30	1,2	1,2	6,2	15	-35
Cd	60	60	60	-	-	1,5	1,3	9,7	55	-48
Cd	60	80	80	-	-	1,1	1,3	11,8	31	-54
Cd	120	120	120	-	-	1,5	1,3	19,0	-11	-64
Cd	-	-	-	-	30	1,5	1,2	6,2	15	-35
Pb	60	60	60	-	-	1,4	1,3	9,7	55	-48
Pb	60	80	80	-	-	1	1,2	11,8	31	-64
Pb	120	120	120			1,5	1,3	19,0	-11	-64
Pb	-	-	-	-	30	1,6	1,2	6,2	15	-35

*предполагаемая урожайность 6 т/га

При применении минеральных и органических удобрений в данных концентрациях (таблица 59) выращивание пшеницы на сельскохозяйственных угодьях ООО «Россия» в ближней зоне (3-5 км от источника) удается получать продукцию растениеводства и кормопроизводства, соответствующую санитарно-гигиеническим нормативам и ВМДУ по Zn на всех участках. По Cr и в меньшей степени по Ni при применении одних агрохимических технологий недостаточно, наблюдаются превышения норматива от 1,2 до 4 раз. В связи с этим необходимо дополнительно применять агротехнические и организационные мероприятия. Так же стоит отметить, что производство пшеницы на данной территории нерентабельно при таких высоких уровнях загрязнения Ni и составляет в среднем -51,5%. При условии получения продукции удовлетворительного качества, согласно МДУ рентабельность составит в среднем 23,5% при уровне средней по стране рентабельности растениеводства в 21% (данные 2020 года).

По данным министерства сельского хозяйства РФ рентабельность сельскохозяйственных организаций с учетом субсидий в 2020 году составила 21%, без субсидий в районе 16% [165].

6.1.3. Технологические приемы возделывания картофеля при высоких уровнях загрязнения почв тяжелыми металлами

Для получения высоких урожаев картофеля в условиях техногенного загрязнения почв важное значение имеет соблюдение следующих условий: использование районированных сортов, правильная подготовка семенного материала, соблюдение технологических приемов возделывания [1].

При возделывании картофеля на территории ООО «Россия» в регионе функционирования ПАО «НЛМК» возможно внесение при подкормке картофеля минеральных удобрений в дозах $N_{30}P_{30}K_{45}$ и навоза 20 т/га, как основного удобрения (таблица 60). Такое сочетание доз удобрений позволяет снизить содержания в среднем Ni в 1,6 раза, продуктивность при этом увеличивается в 1,4 раза, а рентабельность дополнительных затрат на 23% при условии получения продукции соответствующей нормативам. В противном случае рентабельность является отрицательной и составляет -21%. Внесение органических удобрений в большем объеме (навоз 30 т/га) не приводит к какому либо значимому экологическому эффекту, лишь снижается рентабельность производства до -25% при выращивании продукции не соответствующей нормативам и 17% при соответствии. При загрязнении Zn наиболее эффективно внесение навоза в дозе 30 т/га, кратность снижения содержания Zn в картофеле - 1,2, продуктивность увеличивается в 1,3 раза, рентабельность дополнительных затрат 89% при соответствии нормативам и 16 при не соответствии (таблица 60).

Таблица 60 – Эколого-экономическая эффективность возможных реабилитационных мероприятий по производству картофеля на территории хозяйства ООО «Россия», Липецкой области (в ценах 2021 г.).

ТМ	N, кг/га	P ₂ O ₅ , кг/га	K ₂ O, кг/га	CaCO ₃ , т/га	Навоз, т/га	Кратность снижения содержания ТМ, раз	Возможное Увеличение урожайности, раз	Затраты тыс. руб./га	Рентабельность, %	
Zn	-	-	-	-	30	1,2	1,3	6,3	89	16
Zn	60	60	90	-	-	1	1,4	9,6	30	-17
Zn	30	30	45	-	20	1,1	1,4	8,8	23	-21
Zn	30	30	45	6	-	1,2	1,2	13,8	-14	-42
Zn	30	30	45	6	20	1,1	1,5	17,9	-21	-46
Ni	30	30	45	-	30	1,6	1,4	11,0	17	-25
Ni	60	60	90	-	-	1,2	1,4	9,6	30	-17
Ni	30	30	45	-	20	1,6	1,4	8,8	23	-21
Ni	30	30	45	6	-	1,5	1,2	13,8	-14	-42
Ni	30	30	45	6	20	1,2	1,5	17,9	-21	-46
Ni	-	-	-	-	20	1,5	1,3	4,3	168	62

При применении минеральных и органических удобрений в концентрациях ($N_{30-60}P_{30-60}K_{30-60}$, навоз 20-30 т/га, известь) при выращивании картофеля на землях ООО «Россия» в ближней зоне (3-5 км от Липецкой агломерации) представляется возможным получать продукцию, соответствующую санитарно-гигиеническим нормативам по Zn на всех участках. По Cr и Ni наблюдаются превышения концентраций после однократного применения реабилитационных технологий согласно СанПин 2.3.2.1078-01 от 1,2 до 4,0 раз. Использование одних агрохимических технологий для производства продукции, отвечающей санитарно-гигиеническим нормативам не достаточно, необходимо проводить организационные и агротехнические мероприятия такие как:

- обработка почвы. После зерновых однолетних трав основная обработка состоит из лущения почвы дисковыми лущильниками на глубину 8-10 см вслед за уборкой предшественника. Через 2-3 недели (1-я декада августа) после лущения провести вспашку на глубину 20-22 см плугом. Предпосевная обработка почвы улучшает водно-физические свойства и включает боронование на глубину 5-7 см или культивацию на глубину 10-14 см с боронованием по мере подсыхания почвы [1];

- предпосевная обработка клубней. Важнейшим приемом, повышающим устойчивость растений к неблагоприятным воздействиям, является предпосевная обработка семян, позволяющая уничтожить часть фитопатогенов, находящихся на поверхности или внутри семенного материала, а также стимулировать запуск систем, ответственных за рост и развитие проростков особенно на начальной стадии развития растений. Для этих целей могут быть использованы как химические препараты, так и излучения разных длин волн - инфракрасное (ИК), лазерное, ультрафиолетовое излучение (УФИ), ионизирующее излучение и их комбинации [1];

- посадка лучшими районированными и перспективными сортами высоких репродукций гарантирует получение высокого урожая клубней. Оптимальная густота посадки растений - 50-55 тыс. клубней на 1 га. Подбор сортов картофеля, накапливающих наименьшее количество ТМ, служит перспективным приемом. Межсортные различия в накоплении ТМ в клубнях картофеля могут достигать 1,5-3,0 раз при одинаковых условиях возделывания и степени загрязненности почвы [1];

- уход за посевами. Первая довсходовая обработка посадок картофеля культиватором с сетчатой или ротационной бороной через 3-7 дней после посадки; вторая междурядная обработка с боронованием через 5-7 дней после первой; формирование гребней по всходам; окучивание (КОН-2,8) [1];

- обработка вегетирующих посадок картофеля 0,01% раствором гумата натрия приводит к уменьшению накопления ТМ в клубнях в 1,2-1,5 раза. Эту обработку можно сочетать с

применением пестицидов против колорадского жука. Для предотвращения накопления пестицидов в картофеле необходимо строго соблюдать рекомендуемые нормы расхода и сроки последней обработки перед уборкой урожая.

- уборка урожая. Предварительное удаление ботвы скашиванием на посадках продовольственного картофеля проводят за 3-5 дней до массовой уборки, а на семеноводческих посадках – за 10-12 дней до уборки. Массовая уборка картофеля в оптимально сжатые сроки предотвращает потери урожая и повышает качество клубней по содержанию крахмала [1].

Таким образом, разработана системы обоснования оптимальных технологий реабилитации в растениеводстве на территориях, загрязненных ТМ. Данный инструментарий (БД, СППР) обеспечивает поддержку принятия решений органам управления хозяйствующих субъектов по обеспечению производства продукции, соответствующей санитарно-гигиеническим нормативам. Для конкретного сельскохозяйственного предприятия ООО «России», располагающегося в зоне воздействия выбросов ПАО «НЛМК», определены состав, объемы внедрения мероприятий и необходимые затраты. СППР позволяет провести автоматическое ранжирование реабилитационных мероприятий по их эффективности и обосновать технологии с учетом уровня загрязнения ТМ, агрохимических характеристик почвы и вида продукции.

Заключение

Экологическая обстановка в сфере сельскохозяйственного производства определяется воздействием производственной деятельности человека. Наиболее высокие уровни загрязнения ТМ характерны для территорий, прилегающих к крупным промышленным агломерациям с приоритетом металлургического производства, химической промышленности и машиностроения. В связи с этим регионы России значительно отличаются как по номенклатуре воздействующих факторов, так и по масштабам их воздействий на окружающую среду, что определяет необходимость развития системы мониторинга агроэкосистем в условиях техногенного воздействия.

При выполнении задач исследования проведен цикл работ по изучению закономерностей поступления ТМ в компоненты окружающей среды от сельскохозяйственных и промышленных источников загрязнения и разработке методов, критериев и инструментов поддержки принятия решений, направленных на анализ, оценку и прогнозирование экологической ситуации на сельскохозяйственных угодьях в условиях загрязнения ТМ.

По результатам работы показано, что в сельскохозяйственной сфере около 50% поступления ТМ в пахотную почву связано с внесением минеральных удобрений (аммофосы, аммофоски, нитрофоски и др.). Навоз и известь также содержат ТМ.

На основании собственных данных и обобщения литературных сведений показано, что содержание ТМ в удобрениях зависит от комплекса факторов: качества сырья, технологии его переработки, чистоты применяемых химических реагентов при его переработке и т.д. При этом уровень ТМ и, особенно Cd, в удобрениях из отечественного сырья значительно ниже, чем в удобрениях из сырья зарубежных месторождений (Китая, США, Австралии, стран западной Европы и Ближнего Востока). При анализе 119 разных видов и форм минеральных удобрений выявлено, что наиболее загрязненными металлами являются фосфорные и сложные комплексные удобрения. В среднем в них содержится кадмия в 10 раз, а свинца почти в 20 раз больше, чем в азотных. Содержание мышьяка в данных удобрениях вдвое больше, чем в калийных.

При сравнении отечественных удобрений и зарубежных установлено, что самыми загрязненными ТМ являются фосфориты из Австралии, в них содержание кадмия колеблется до 170 мг/кг. Затем идут США и Канада до 100 мг/кг., причем фосфаты с Запада США – «грязнее», чем в целом в Северной Америке: 70-155 мг/кг. В отечественных образцах среднее содержание кадмия в калийных удобрениях составляло 2-2,5, азотных – 0,2-0,3 и фосфорных – 1,2-5,6, комплексных и сложных – 3,0-3,8 мг/кг.

Для изучения процессов, происходящих в почве при внесении минеральных удобрений, провели исследования в полевом многолетнем эксперименте, который показал, что

систематическое применение различных доз минеральных удобрений или их полное отсутствие оказывает существенное влияние на баланс элементов питания и агрохимические показатели выщелоченного чернозема. Наибольший отрицательный баланс элементов питания в почве наблюдался в контрольных вариантах без внесения удобрений и при применении несбалансированных по элементам питания минеральных удобрений, что приводило к ухудшению свойств почв и снижению до 1,7 раза урожайности зерновых культур. При этом в большинстве вариантов наблюдалось подкисление почвенного раствора и в наибольшей степени в вариантах с несбалансированным применением азотно-фосфорных и азотно-калийных удобрений. Вместе с тем, внесение в почву известняковой муки (до 7 т/га) способствовало нейтрализации кислотности и возрастанию значений рН почвы на 0,4 единицы.

Несбалансированное внесение высоких доз азотных и калийных удобрений обуславливает увеличение подвижности ТМ в системе почва-растение. При этом, несмотря на относительно небольшое содержание Cd в почве, накопление его в зерне яровой пшеницы в этих вариантах превышало нормы СанПиН 2.3.2.1078-01 до 1,8 раза, а содержание Pb достигало предельно допустимых значений. Повышенные дозы азотных и калийных удобрений не оказывали значимого влияния на накопление меди в зерне яровой и озимой пшеницы. Однако применение фосфорных удобрений в возрастающих дозах и известкование снижало содержание меди в растениях до 1,7 раза.

Показано, что длительное в течение 20 лет применение разных доз и сочетаний отечественных минеральных удобрений не оказывало значимого влияния на изменение содержания тяжелых металлов в пахотном слое черноземных почв. При принятой системе удобрений под зерновые культуры для увеличения содержания в почве As и Cd на 0,1 мг/кг необходимо 660 и 250 лет, а на 1 мг/кг Pb 285, Zn 47, Co 740, Ni 115 и Cu 130 года. При внесении импортных удобрений с высокими уровнями содержания ТМ их накопление в почве может возрастать на порядок.

Следует отметить, что возрастание накопления ТМ растениями с относительно низким содержанием Cd в почве свидетельствует о необходимости постоянного мониторинга безопасности продукции культур на почвах с высоким валовым содержанием ТМ и несбалансированном применении минеральных удобрений.

Одним из основных промышленных источников поступления ТМ в окружающую среду является производство металлов. Принимая во внимание, что существует множество различных технологий производства металлов, провели агроэкологический мониторинг агроэкосистем в районах расположения крупнейших производственных площадок ПАО «НЛМК» и ООО «НЛМК-Калуга», использующих разные технологии производства стали.

В результате проведенных исследований выявлено 9 химических поллютантов (Fe, Cr, Zn, Mn, Ni, Co, Pb, Cu, Cd), накопление которых в снежном покрове обследуемой территории превышает фоновые показатели. Данный набор элементов характерен для производства черных металлов с изготовлением легированной стали.

Установлено, что интенсивность загрязнения снежного покрова и почвы в зоне влияния металлургических комбинатов зависит от используемых технологий, вида производимой промышленной продукции, объемов выбросов, направления и расстояния от источников загрязнения, погодных условий и характера подстилающей поверхности.

Максимальные концентрации поллютантов и пылевая нагрузка на снежный покров района расположения ПАО «НЛМК» г. Липецк проявляется в ближней зоне воздействия на расстоянии 4-6 км от источников загрязнения в юго-восточном направлении согласно розе ветров. С увеличением расстояния от источника загрязнения выбросов до 10-12 км пылевая нагрузка переходит в среднюю и далее фиксируется ее низкая степень. Вместе с тем в ближней 4-6 км зоне воздействия ПАО «НЛМК» превышение содержания ТМ по отношению к фоновым показателям может достигать 16 раз. Основное количество ТМ содержится в форме труднорастворимых соединений, а содержание водорастворимой фракции ТМ в снежном покрове находится на низких концентрациях. Установлен высокий ежесуточный приток ТМ в ближней зоне воздействия ПАО «НЛМК» и средний на остальной части обследуемой территории. При этом суммарный показатель загрязнения снежного покрова (Z_c) в Липецкой области достигал 96,9, что соответствует средней степени загрязнения ТМ снежного покрова. Катионный и анионный состав талых вод по своим значениям во всех случаях не превышает предельно допустимых показателей, установленных для питьевой воды. Отмечен высокий уровень притока ТМ с пылевыми взвешенными частицами в ближней 8-км зоне (5000-10000 мг/км² сут). Во всей остальной зоне обследования, кроме фоновых территорий, наблюдался средний уровень (1000-5000 мг/км² сут) притока ТМ (преимущественно железа), что говорит о достаточно высокой степени техногенной нагрузки на снежный и почвенный покров. По степени превышения концентраций в снежном покрове над фоном ТМ составляют последовательность: $Pb > Fe > Cr > Zn > Cu > Ni > Co > Cd > Mn$.

В районе расположения ООО «НЛМК-Калуга» (с. Ворсино) максимальные концентрации поллютантов и относительно высокие пылевые нагрузки на снежный покров также наблюдаются в ближних зонах воздействия на расстоянии до 3 км от источника загрязнения, в которых превышение содержания ТМ по отношению к фоновым показателям могут достигать 8 раз.

Содержание ряда ТМ в твердом осадке снежного покрова обследуемой территории ПАО «НЛМК» г. Липецк до 20 раз превышает аналогичные показатели для

электрOMETаллургического завода ООО «НЛМК-Калуга» с. Ворсино. Такая разница экологического воздействия ПАО «НЛМК» объясняется тем, что для производства стали используется не электродуговые сталеплавильные печи (как ООО «НЛМК-Калуга»), а доменные печи с более высокими объемами выбросов загрязняющих веществ в атмосферу. При производстве стали на ООО «НЛМК-Калуга» используется лом черных металлом, а не руда как на ПАО «НЛМК». Так же стоит принимать во внимание, что производственные мощности ПАО «НЛМК» (9,9 млн. т. стали) примерно в 6 раз превышают проектную мощность ООО «НЛМК-Калуга» (1,6 млн. т. стали). Даже с учетом этой поправки электродуговое производство стали с использованием лома черных металлов является более экологически эффективным по сравнению с производством стали с использованием доменных печей и руды в качестве сырья.

Проведение в дальнейшем аналогичных работ позволит оперативно фиксировать и реагировать на изменение экологической обстановки в данном регионе.

На природных участках и целинных кормовых угодьях района расположения ПАО «НЛМК» выявлена выраженная аккумуляция тяжелых металлов в верхних 0-2 и 2-5 см слоях почвы, что может способствовать деградации почвенного плодородия и обострению экологических ситуаций на сельскохозяйственных угодьях вблизи промышленных предприятий. Вместе с тем содержание ТМ в пахотных слоях почв не превышает нормативных значений.

Экологический мониторинг сельскохозяйственных угодий, расположенных в 30-км зоне влияния ПАО «НЛМК» Липецкой области показал, что загрязнение урожая сельскохозяйственных культур ТМ в зоне влияния предприятий черной металлургии происходит преимущественно аэральным путем в результате атмосферных выпадений большей частью на расстоянии 2-7 км от площадки размещения промышленных объектов. Наблюдаемые превышения ВМДУ по содержанию Сг в травостое в районе расположения ПАО «НЛМК» составляют от 1,5 до 16 раз, Ni - до 13 раз, Fe - до 1,5-2,0 раз. Увеличение расстояния от предприятий ПАО «НЛМК» до 30 км способствует снижению накопления Fe в растениях до 14,6 раза, Сг до 8,3 раза, Ni до 22,8 раза. Установленные закономерности обуславливают необходимость проведения в районах расположения промышленных предприятий агроэкологического мониторинга, обеспечивающего объективную оценку токсико-экологической ситуации, выявление тенденций в ее изменении и составления прогноза агроэкологической обстановки в сфере сельскохозяйственного производства.

В соответствии с поставленными задачами предложено проводить обоснование эффективности реабилитационных технологий по снижению поступления ТМ в продукцию растениеводства на территориях, загрязненных ТМ на основании трех групп критериев: 1) экологические (кратность снижения содержания ТМ в сельскохозяйственной продукции,

урожайность) 2) экономических (дополнительный доход, затраты связанные с производством, прибыль от реализации сельскохозяйственной продукции, рентабельность дополнительных затрат, стоимость полученной продукции; окупаемость технологических затрат; окупаемость удобрений) 3) нормативный (соответствие требованиям ПДК, МДУ по содержанию ТМ в сельскохозяйственной продукции).

Для применения на практике упомянутых выше подходов разработана БД по оценке эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных ТМ, с использованием программных пакетов Microsoft Office (Microsoft Access и Microsoft Excel). БД включает 3809 строк записей за период с 1986 по 2020, а так же содержит информацию по агрохимическим, гранулометрическим свойствам почвы, урожайности продукции растениеводства, коэффициентам накопления для 16 ТМ. БД позволяет производить оценку оптимальных реабилитационных технологий для получения сельскохозяйственной продукции, соответствующей нормативам, на территориях, загрязненных ТМ, без учета экономических и нормативных критериев.

Создана система поддержки принятия решений по оценке эколого-экономической эффективности реабилитационных технологий в хозяйствах, расположенных на территориях, загрязненных тяжелыми металлами, позволяющая оперативно проводить обоснование применения агрохимических мероприятий с учетом специфики конкретного сельскохозяйственного предприятия, включая экологические, нормативные и экономические подходы.

Принимая во внимание, что на исследуемой территории сельскохозяйственного предприятия ООО «Россия» распространены залповые аэрозольные выбросы рекомендовано в качестве защитного приема изменение сроков уборки урожая. Учитывая более высокие уровни загрязнения посевов на расстоянии 3-10 км от источника поступления ТМ, рекомендуется разместить на близлежащих к нему угодьях культуры, хозяйственно-ценная часть которых находится в почве (корне- и клубнеплоды). На территории ООО «Россия» такие угодья находятся около населенных пунктов Фашевка и Казинка (Отделение 1). Для кормовых угодий подбираются участки, наиболее удаленные от источника выбросов ТМ.

Для производства пшеницы в условиях загрязнения Zn эффективно применение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$ совместно с органическими удобрениями (навоз 30 т/га), менее эффективно внесение одних органических удобрений (навоз 30 т/га). В условиях максимального загрязнения почв Cr эффективно применение минеральных удобрений в дозах $N_{90}P_{90}K_{90}$. При загрязнении Ni эффективно применение органических удобрений (30 т/га навоза) и минеральных в дозах $N_{60}P_{80}K_{80}$. При загрязнении Cd эффективно применение

минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$. При загрязнении Pb эффективно применение минеральных удобрений в дозах $N_{60}P_{60}K_{60}$.

При гипотетическом загрязнении сельскохозяйственных угодьях ООО «Россия» вследствие рекомендованного применения минеральных и органических удобрений в указанных дозах при выращивании пшеницы в ближней зоне (3-5 км от источника) удастся получать продукцию растениеводства и кормопроизводства, соответствующую санитарно-гигиеническим нормативам и ВМДУ по Zn на всех участках. По Cr и в меньшей степени по Ni применение одних агрохимических технологий недостаточно, поскольку наблюдается превышение норматива по содержанию ТМ в продукции от 1,2 до 4 раз. В связи с этим необходимо дополнительно применять агротехнические и организационные мероприятия. Так же стоит отметить, что производство пшеницы на данной территории нерентабельно при таких высоких уровнях загрязнения Ni и составляет в среднем -51,5%. При условии получения продукции удовлетворительного качества, согласно МДУ рентабельность составит в среднем 23,5% при уровне средней по стране рентабельности растениеводства в 21% (данные 2020 года).

При возделывании картофеля на территории ООО «Россия» в регионе функционирования ПАО «НЛМК» рекомендуется внесение при подкормке культуры минеральных удобрений в дозах $N_{30}P_{30}K_{45}$ и навоза 20 т/га, как основного удобрения. Такое сочетание доз удобрений позволяет снизить содержания в среднем Ni в 1,6 раза, продуктивность при этом увеличивается в 1,4 раза, а рентабельность дополнительных затрат возрастет на 23% при условии получения продукции, соответствующей нормативам. В противном случае рентабельность будет отрицательной и составлять -21%. Внесение органических удобрений в большем объеме (навоз 30 т/га) не приводит к какому-либо значимому экологическому эффекту, лишь снижается рентабельность производства до -25% при выращивании продукции, не соответствующей нормативам, и 17% при соответствии. При загрязнении Zn наиболее эффективно внесение навоза в дозе 30 т/га, кратность снижения содержания Zn в картофеле - 1,2, продуктивность увеличивается в 1,3 раза, рентабельность дополнительных затрат 89% при соответствии нормативам и 16 при их несоответствии.

При применении минеральных и органических удобрений в концентрациях ($N_{30-60}P_{30-60}K_{30-60}$, навоз 20-30 т/га, известь) при выращивании картофеля на землях ООО «Россия» в ближней зоне (3-5 км от Липецкой агломерации) представляется возможным получать продукцию, соответствующую санитарно-гигиеническим нормативам по Zn на всех участках. По Cr и Ni наблюдаются превышения концентраций после однократного применения реабилитационных технологий согласно СанПин 2.3.2.1078-01 от 1,2 до 4,0 раз. Использование одних агрохимических технологий для производства продукции, отвечающей санитарно-

гигиеническим нормативам не достаточно, необходимо проводить организационные и агротехнические мероприятия.

Проведение в дальнейшем аналогичных работ позволит оперативно фиксировать и реагировать на изменение экологической обстановки в данном регионе.

Выводы

1. Предложенные методы агроэкологического мониторинга, комплекс критериев (экологические, нормативные, экономические) и разработанные инструменты (БД, СППР) обеспечивают проведение анализа, оценки и прогнозирования экологической ситуации в агроценозах, оценку эффективности реабилитационных мероприятий по снижению накопления ТМ в продукции растениеводства, а также обоснование и оптимизацию применения реабилитационных мероприятий в зависимости от уровня загрязнения ТМ, агрохимических характеристик почв и вида продукции.

2. БД содержит данные об эффективности реабилитационных мероприятий для различных химических загрязнителей (Cd, Pb, Zn, Cu, Ni и т.д.), 38 видов продукции, удобрений (минеральных, органические и т.д.) на разных типах почв (дерново-подзолистые, серые лесные, черноземные и пойменные) с широким спектром агрохимических характеристик, опубликованных в литературных источниках с 1986 по 2020.

3. Применение отечественных удобрений под зерновые культуры не приводит к значительному увеличению содержания металлов в почве, для увеличения на 0,1 мг/кг As и Cd потребуется 660 и 250 лет, а на 1 мг/кг Pb – 285, Zn – 50, Co – 740, Ni – 115 и Cu – 130 лет. При внесении импортных удобрений, с высокими уровнями содержания ТМ, накопление токсикантов в почве может возрасть более чем на порядок.

4. Наибольший отрицательный баланс элементов питания в почве отмечен в вариантах без внесения агроулучшителей и при применении несбалансированных доз минеральных удобрений, что приводит к ухудшению свойств почв и снижению до 1,7 раза урожайности зерновых культур.

5. Характер загрязнения ТМ снежного покрова и почв в зоне влияния выбросов предприятий группы НЛМК определяется полиэлементным составом аэрозольных выпадений в труднорастворимой форме, включая Fe, Mn, Zn, Pb, Cr, Ni, Cu, Cd, Co. Концентрации водорастворимых фракций загрязнителей в снежном покрове не превышают значений ПДК для водных объектов, имеющих рыбохозяйственное значение, за исключением превышений по Cu до 5 раз, Zn до 9 раз. Основные выпадения ТМ происходят на расстоянии до 10 км от источника выброса.

6. На природных участках и целинных кормовых угодьях в районе расположения ПАО «НЛМК» (Липецк) выявлена аккумуляция ТМ в верхних 0-2 и 2-5 см слоях почвы. В ближней зоне воздействия выбросов ПАО «НЛМК» превышение ВМДУ по содержанию Сг в травостое составляет до 16 раз, Ni – до 13 раз, Fe – до 1,5-2,0 раз. В районе ООО «НЛМК-Калуга» превышений ВМДУ в растительности не обнаружено.

7. Установленные закономерности обуславливают необходимость проведения в районах расположения промышленных предприятий агроэкологического мониторинга, обеспечивающего оценку токсико-экологической ситуации, выявление тенденций в ее изменении и прогноза обстановки для организации сельскохозяйственного производства.

8. Разработаны рекомендации по организации сельскохозяйственного производства в зоне воздействия ПАО «НЛМК» (г. Липецк), включающие: оптимизацию сроков уборки урожая зерновых культур в случае информации о залповом выбросе; изменение структуры землепользования на близлежащих к источнику выбросов угодьях – размещение культур, хозяйственно-ценная часть которых находится в почве (корне- и клубнеплоды); выделение участков, наиболее удаленные от источника выбросов, для кормовых угодий.

9. На основании применения СППР рекомендованы оптимальные дозы и сочетания удобрений в случае высоких уровней загрязнения почв ТМ, превышающих ВМДУ, при выращивании пшеницы на участках загрязненных: Zn – совместное внесение минеральных (N60P60K60) и органических удобрений (навоз 30 т/га); Сг – минеральных удобрений (N90P90K90); Ni – органических удобрений (навоз 30 т/га). Рекомендованные мероприятия обеспечивают снижение накопления ТМ до 1,5 раза, увеличение урожайности до 1,5 раза, рентабельность до 55% при соответствии продукции санитарно-гигиеническим нормативам.

10. На основании применения СППР рекомендованы оптимальные дозы и сочетания удобрений при выращивании картофеля на участках загрязненных: Ni – минеральные удобрения (N30P30K45) и органические (навоз 20 т/га); Zn – внесение навоза в дозе 30 т/га. Рекомендованные мероприятия обеспечивают снижение накопления ТМ до 1,6 раза, увеличение урожайности до 1,4 раза, рентабельность до 89% при соответствии продукции санитарно-гигиеническим нормативам.

Список литературы

1. Санжарова, Н.И. Технологические приемы, обеспечивающие повышение устойчивости агроценозов, восстановление нарушенных земель, оптимизацию ведения и получение соответствующей нормативам сельскохозяйственной продукции / Н.И. Санжарова, А.Н. Ратников, С.И. Спиридонов, С.А. Гераськин, Л.Н. Ульяненко, А.С. Филипас, Е.В. Спирин, Н.Н.

Исамов, С.В. Круглов, А.В. Панов, Т.Л. Жигарева, В.К. Кузнецов, Н.В. Грудина, В.С. Анисимов, Г.И. Попова, Е.П. Пименов, О.А. Шибина, Н.Н. Исамов, П.Н. Цигвенцев; под общей редакцией Н.И. Санжаровой. – Обнинск: ВНИИСХРАЭ, – 2010. – 180 с.

2. Курбаков, Д.Н. Система поддержки принятия решения по оптимизации применения реабилитационных технологий на территориях, загрязненных тяжелыми металлами / Д.Н. Курбаков, А.В. Панов, В.В. Кречетников, Р.А. Микаилова, В.Э. Нуштаева // Проблемы устойчивого развития и эколого-экономической безопасности регионов / XIV Международная научно-практическая конференция. – Волгоград: –2019. – С 26-31.

3. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2020 году». – М.: Минприроды России; НИА-Природа, – 2021. – 864 с.

4. Санжарова, Н.И. Методы организации и ведения агроэкологического мониторинга сельскохозяйственных угодий в зонах техногенного загрязнения и оценка экологической обстановки в сельском хозяйстве в регионах размещения атомных электростанций и аварий ЧАЭС. / Под. ред. Н.И. Санжаровой. – Обнинск: ВНИИРАЭ, – 2010. – 276 с.

5. Ежегодник. Загрязнение почв Российской Федерации токсикантами промышленного происхождения в 2021 году. – Обнинск: ФГБУ «НПО «Тайфун», – 2022. – 131 с.

6. Федоров, Л. А. Пестициды - токсический удар по биосфере и человеку / Л. А. Федоров, А. В. Яблоков. – М.: Наука, – 1999. – 461 с.

7. Статистический сборник. Охрана окружающей среды в России. 2022. – М.: Росстат, – 2022. – 115 с.

8. Вершинин, В.В. Теоретические положения землеустройства загрязненных территорий: Монография / В.В. Вершинин. – Волгоград: Страница-2, 2003. – 179 с.

9. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2016 году». – М.: Минприроды России; НИА-Природа, – 2017. – 760 с.

10. Курбаков, Д.Н. База данных по эффективности реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами / Д.Н. Курбаков, А.В. Панов, Н.А. Сотникова // Руководство пользователя. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, – 2016. – 32 с. ISBN 978-5-903386-44-4.

11. Ковальский, В.В. Геохимическая экология: Очерки / В.В. Ковальский. – Москва: Наука, – 1974. – 299 с.

12. Ковальский, В.В. Геохимическая среда и жизнь: Двадцать первое чтение им. В. И. Вернадского / В.В. Ковальский. – М.: Наука, – 1982. – 77 с.

13. Ковалевский, А.Л. Биогеохимические поиски рудных месторождений / Ковалевский А.Л. – М.: Недра, – 1984. – 172 с.

14. Ковалевский, А.Л. Биогеохимия растений / А. Л. Ковалевский; отв. ред. В. М. Корсунов; АН СССР. – Новосибирск: Наука, – 1991. – 288 с.
15. Добровольский, В.В. Основы биогеохимии: Учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности 013000 и направлению 510700 "Почвоведение" / В.В. Добровольский. – Москва: Academia, – 2003. – 396 с.
16. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В.Б. Ильин; Отв. ред. И.Л. Клевенская; АН СССР, Сиб. отд-ние, ин-т почвоведения и агрохимии. – Новосибирск: Наука, – 1991. – 148 с.
17. Rao, Z.X. Distribution and availability of cadmium in profile and aggregates of a paddy soil with 30-year fertilization and its impact on Cd accumulation in rice plant / Z.X. Rao, D.Y. Huang, J.S. Wu, et al. // *Environmental Pollution*, – 2018. – Vol. 239. – P. 198-204.
18. Kabata-Pendias, A. Trace elements in soils and plants / A. Kabata-Pendias, F.L. Boca Raton. - USA: CRC Press, – 2011. – 505 p.
19. Zhuo, H. Soil heavy metal contamination and health risk assessment associated with development zones in Shandong / H. Zhuo, S. Fu, H. Liu, et al. // *Environmental Science and Pollution Research*, – 2019. – Vol. 26. – No. 29. – P. 30016–30028.
20. Ковды, В.А. Микроэлементы в почвах Советского Союза / Под ред. В. А. Ковды, Н. Г. Зырина. – М.: Изд-во Моск. ун-та, – 1973. – 22 с.
21. Зырин, Н.Г. Микроэлементы в почвах Советского Союза. Подвижные формы / Под ред. Н.Г. Зырина. – М.: Изд-во Моск. ун-та, – 1981. – 22 с.
22. Зырин, Н.Г. Содержание и формы микроэлементов в почвах / под ред. Н. Г. Зырина. – М.: Изд-во МГУ, – 1979. – 387 с.
23. Зырин, Н.Г. Химия тяжелых металлов, мышьяка и молибдена в почвах / Под ред. Н.Г. Зырина. – М.: Изд-во МГУ, – 1985. – 206 с.
24. Черных, Н.А. Экологические аспекты загрязнения почв тяжелыми металлами / Под ред. Черных Н.А. – М: Агроконсалт, – 1999. – 176 с.
25. Пархоменко, Н.А. Агроэкологическая оценка действия тяжелых металлов в системе почва-растение: дис. канд. сельскох. наук: 06.01.04 / Наталья Александровна Пархоменко. – Омск: – 2004. – 237 с.
26. Водяницкий, Ю.Н. Тяжелые и сверхтяжелые металлы и металлоиды в загрязненных почвах / Ю.Н. Водяницкий. – М.: ГНУ Почвенный институт им. В.В. Докучаева Россельхозакадемия, – 2009. – 96 с.
27. Санжаровой, Н.И. Тяжелые металлы в агроценозах: миграция, действие, нормирование / под ред. Н.И. Санжарова, П.Н. Цыгвинцев. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, – 2019. – 398 с.

28. Курбаков, Д.Н. Сбор и обобщение информации о реабилитационных технологиях по снижению накопления тяжелых металлов в сельскохозяйственных растениях на техногенно загрязненных территориях / Д.Н. Курбаков, А.В. Панов // XI Международная научно-практическая конференция "Сельскохозяйственные науки и агропромышленный комплекс на рубеже веков". – Новосибирск: – 2015. – С. 71 - 76.
29. Курбаков, Д.Н. База данных по эффективности технологий ведения земледелия на территориях, загрязненных тяжелыми металлами/ Д.Н. Курбаков, А.В. Панов, Н.А. Сотникова // Электронный научно-производственный журнал «АгроЭкоИнфо», – 2017. – №3. – 9 с.
30. Сотникова, Н.А. Эффективность реабилитационных мероприятий на радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных территориях в отдаленный период после аварии на черновобильской АЭС: дис. канд. биол. наук: 03.01.01 / Сотникова Надежда Александровна. – Обнинск: ГНУ ВНИИСХРАЭ, – 2016. – 171 с.
31. Панов, А.В. Обоснование, оценка эффективности и оптимизация защитных и реабилитационных мероприятий на территориях, подвергшихся загрязнению после аварий на черновобильской АЭС: дис. д-ра. биол. наук. 03.00.01 / Панов Алексей Валерьевич. – Обнинск: ГНУ ВНИИСХРАЭ, – 2009. – 320 с.
32. Фесенко, С.В. Авария на черновобильской АЭС: Защитные и реабилитационные мероприятия в сельском хозяйстве / С.В. Фесенко, Н.И. Санжарова, Н.Н. Исамов, О.А. Шубина // Радиационная биология. Радиоэкология, – 2021. – №3. – С. 6.
33. Курбаков, Д.Н. Влияние длительного применения минеральных удобрений на поступление тяжелых металлов в урожай сельскохозяйственных культур / Д.Н. Курбаков, В.К. Кузнецов, А.В. Панов // Международная научная конференция «Плодородие почв России. Состояние территорий и прогнозы». – Москва: – 2019. – С. 169-173.
34. Курбаков, Д.Н. Накопление тяжелых металлов в урожае зерновых культур при длительном применении минеральных удобрений / Д.Н. Курбаков, В.К. Кузнецов, М.С. Хлопюк, Е.В. Сидорова // Агрехимия, – 2022. – № 3. – С. 74-80.
35. Курбаков, Д.Н. Оценка эколого-экономической эффективности технологий ведения сельскохозяйственного производства на территориях, загрязненных тяжелыми металлами / Д.Н. Курбаков / Научная сессия МИФИ. – Москва: – 2014. – С. 160.
36. Сокаева, Р. М. Транслокация тяжелых металлов в системе почва-растение и приемы их детоксикации: дис. канд. сельскох. наук: 06.01.04 / Римма Михайловна Сокаева. – Владикавказ, – 2005. – 146 с.
37. Борзенков, Б.И. Программа расчёта поля приземной концентрации вредных веществ в атмосфере / Б.И. Борзенков, В.Г. Малюк // Радиоэлектроника и информатика, – 2000. – №2 – с.152-153.

38. УПРЗА «Эколог» (Фирма "Интеграл, Санкт-Петербург) – программа расчета загрязнения атмосферы [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ascon.ru>.
39. RECASS – программа поддержки принятия решений в условиях загрязнения природной среды при радиационных, химических авариях, а также при выбросах вулканического пепла и продуктов горения лесных и торфяных пожаров [Электронный ресурс]. - Обнинск: НПО «Тайфун». - Режим доступа: <http://www.rpatyphoon.ru/products/software-hardware/recass.php>.
40. Израэль, Ю.А. Загрязнение и окружающая среда / Под. ред. Ю.А. Израэля. - Москва: Гидрометеиздат, – 1979. – 423 с.
41. Подколзин, О.А. Эколога-агрохимический мониторинг состояния и научные основы охраны агроэкосистем от химического загрязнения в Центральном Предкавказье: дис. д-ра сельхоз. наук: 03.00.16 / Подколзин Олег Анатольевич. – Ставрополь: – 2009. – 417 с.
42. Методические указания по обследованию почв сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства на содержание тяжелых металлов, остаточных количеств пестицидов и радионуклидов. – М.: ЦИНАО, – 1995. – 45 с.
43. Водяницкий, Ю.Н. Нормативы содержания тяжелых металлов и металлоидов в почвах / Ю.Н. Водяницкий // Почвоведение, – 2012. – № 3. – С.368-375.
44. Колесников, С.И. Разработка региональных экологических нормативов содержания загрязняющих веществ в почвах юга России / С.И. Колесников, К.Ш. Казеев, К. Ш. Денисова, Е.В. Дяденко // Научный журнал КубГАУ, – 2012. – № 82(08). – С. 1-17.
45. Методические указания по проведению комплексного мониторинга. – М.: Росинформагротех, – 2003. – 240 с.
46. Чернова, О.В. Допустимые и фоновые концентрации загрязняющих веществ в экологическом нормировании / О.В. Чернова, О.В. Бекецкая // Почвоведение, – 2011. – № 9. – С. 1102-1113.
47. Чернова, О.В. Нормирование валового содержания микроэлементов и тяжелых металлов в почвах России и Европейских стран / О.В. Чернова, О.В. Бекецкая // Экологическое нормирование, сертификация и паспортизация почв, как научная основа рационального землепользования. международная научно-практическая конференция, – Москва: МАКС пресс, – 2010. – С 166-169.
48. Инструкционное письмо от [07.08.87] № [1234-4/281] «Временный максимально-допустимый уровень содержания некоторых химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках». – М.: Департамент Ветеринарии, – 1987. – 9 с.

49. Методические указания по обследованию почв сельскохозяйственных угодий и продукции растениеводства на содержание тяжелых металлов, остаточных количеств пестицидов и радионуклидов. – М: ЦИНАО, – 1995. – 45 с.
50. Методические указания по проведению комплексного мониторинга плодородия почв земель сельскохозяйственного назначения. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», – 2003. – 240 с.
51. Методические рекомендации №5174-90. По оценке степени загрязнения атмосферного воздуха населенных пунктов металлами по их содержанию в снежном покрове и почве. – М.: ИМГРЭ, – 1990. – 16 с.
52. Методические рекомендации по выявлению деградированных и загрязненных земель. – М.: "Кодеск", – 1994. – 29 с.
53. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». – М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», – 2018. – 896 с.
54. Ежегодный доклад по результатам мониторинга. О состоянии сельских территорий в Российской Федерации в 2015 году. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», – 2017. – № 3. – 348 с.
55. Ежегодный доклад по результатам мониторинга. О состоянии сельских территорий в Российской Федерации в 2018 году. – М.: ФГБНУ «Росинформагротех», – 2020. – № 6. – 224 с.
56. Санжарова Н.И. Научные основы ведения сельскохозяйственного производства на техногенно загрязненных территориях, обеспечивающего получение продукции, соответствующей нормативам / под ред. Н. И. Санжаровой. – Обнинск: ВНИИСХРАЭ, – 2004. – 110 с.
57. ГОСТ Р 70281-2022 Охрана окружающей среды. Почвы. Классификация химических веществ для контроля загрязнения. – М.: ФГБУ «РСТ», – 2022. – 4 с.
58. Курбаков, Д.Н. Оценка эффективности технологических приемов ведения растениеводства на территориях, загрязненных тяжелыми металлами (на примере Новолипецкого металлургического комбината) / Д.Н. Курбаков, А.В. Панов, В.К. Кузнецов // Проблемы агрохимии и экологии, – 2018. – № 2. – С. 54-59.
59. Теплая, Г. А. Тяжелые металлы как фактор загрязнения окружающей среды (обзор литературы) // Астраханский вестник экологического образования, – 2013. – № 1(23). – С.182-192.
60. Зайцева, О.Е. Особенности накопления микроэлементов в плаценте и пуповине при нормальной и осложненной гестозом беременности: автореф. дис. канд. мед. наук. / Ольга Евгеньевна Зайцева, – М.: –2006. 157 с.
61. Израэль, Ю.А. Подходы к решению проблемы охраны природной среды и рационального природопользования в Советском Союзе / Ю.А. Израэль. – М.: ВИНТИ, – 1979. – 21 с.

62. Изучение загрязнения окружающей природной среды и его влияния на биосферу: материалы совещ. по проекту № 14 МАБ ЮНЕСКО. – Л.: Гидрометеоздат, – 1979. – 86 с.
63. Реймерс, Н.Ф. Экологизация: Введение в экологическую проблематику / Н.Ф. Реймерс. – Москва: РОУ, – 1992. – 120 с.
64. Авцын, А.П. Микроэлементы человека / А.П. Авцын, А.А. Жаворонков, М.А. Риш, Л.С. Строчкова. – М.: Медицина, – 1991. – 496 С.
65. Алексеев, Ю.А. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.А. Алексеев. – Л.: Агропромиздат, – 1987. – 142 с.
66. Виноградов, А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры / А.П. Виноградов // Геохимия, – 1952. – №7. – С. 55-571.
67. Соколов, О.А. Экологическая безопасность и устойчивое развитие / Атлас распределения тяжелых металлов в объектах окружающей среды. – Пушкино: –1999. – 163 с.
68. Башкин, В.Н. Биогеохимические основы экологического нормирования / В.Н. Башкин, Е.С. Евстафьева, В.В. Снакин, И.О. Алябина. – М.: Наука, –1993. – 304 с.
69. Митрохин, О.В. Оценка транслокального загрязнения как составная часть социально-гигиенического мониторинга / О.В. Митрохин // Здоровье населения и среда обитания, – 2001. – № 9. – С. 11-14.
70. Ревич, Б.А. Проблемы прогнозирования, «горячие точки» химического загрязнения окружающей среды и здоровье населения России // под ред. В.М. Захарова. – М.: Акрополь, – 2007. – 190 с.
71. Сидоренко, Г.И. Проблемы изучения и оценки состояния здоровья населения. / Г.И. Сидоренко, Е.Н. Кутепов // Гигиена и санитария, – 1994. – №8. – С. 33-36.
72. Иванов, В.В. Геохимия рассеянных элементов Ga, Ge, Gd, In, Tl в гидротермальных месторождениях / В.В. Иванов. – М.: Недра, – 1966. – 389 с.
73. Национальный атлас России / Природа. Экология. – М.: Роскартография, – 2012. – т. 2. – 495 с.
74. Федеральная служба государственной статистики: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>.
75. Федеральная служба государственной статистики. Выбросы загрязняющих атмосферу веществ стационарными и подвижными источниками. [Электронный ресурс], – 2022. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/folder/11194>.
76. Государственный доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2017 году». – М.: Минприроды России; НПП «Кадастр», – 2018. – 896 с.
77. О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения: [федер. закон N 52-ФЗ: принят Гос. Думой 30.03.1999: по состоянию на 1 янв. 2022]. – М.: АО "Кодекс", – 2022. – 41 с.

78. Об охране окружающей среды: [федер. Закон №311-ФЗ: принят Гос. Думой 21.11.2011: по состоянию на 30 апр. 2021 г.]. – М.: АО "Кодекс", – 2022. – 12 с.
79. Бровкин, В.И. Динамика подвижного фосфора в пахотном слое выщелоченного чернозема / В.И. Бровкин // Бюллетень ВИУА, – 1990. – № 102. – С. 27-31.
80. Добровольский, В.В. География микроэлементов. Глобальное рассеяние / В.В. Добровольский. – Москва: Мысль, – 1983. – 271 с.
81. Состояние окружающей среды / Программа ООН по окружающей среде. – М.: ВИНТИ, – 1980. – 162 с.
82. СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. - М.: АО "Кодекс", 2021. - 1004 с.
83. Крятов, И.А. Гормонизация гигиенических нормативов для приоритетных загрязнений почв с международными рекомендациями / И.А. Крятов, Н.И. Тонкопий, М.А. Водянова, О.В. Ушакова, Л.Г. Донерьян, И.С. Евсеева, И.С. Матвеева, Д.И. Ушаков // Гигиена и санитария, – 2015. – № 7. – С. 42-48.
84. Алексахин, Р.М. Рекомендации по организации земледелия на техногенно загрязненных сельскохозяйственных угодьях (загрязнение радионуклидами и тяжелыми металлами) / под. ред. Р.М. Алексахин. – Обнинск: ВНИИСХРАЭ, – 2006. – 66 с.
85. Цемко, В.П. Совершенствование экономико-правовых норм интенсивного использования и охраны земельных ресурсов / В.П. Цемко. – Киев: СОПС УССР, – 1986. – 31 с.
86. Цемко, В.П. Состояние и охрана земельных ресурсов УССР / В.П. Цемко, Л.И. Гайдарова, И.И. Гурин; Отв. ред. В.П. Цемко. – Киев: Наук. думка, – 1985. – 135 с.
87. Carlon, C. Derivation methods of soil screening values in Europe// A review and evaluation of national procedures towards harmonization. EUR 22805-EN. – Ispra: European Commission Joint Research Centre, – 2007. – 306 p.
88. Heemsbergen, D. The Australian methodology to derive ecological investigation levels in contaminated soils/ D. Heemsbergen, M. Warne, M. McLaughlin, R. Kookana // CSIRO Land and Water Science Report, – 2009. – 43/09. – 74 p.
89. Kabata-Pendias, A. Excessive uptake of heavy metals by plants from contaminated soil / A. Kabata-Pendias, K. Wiacek // Roczniki gleboznawcze, – 1985. – V. 36. – № 4. – P. 33–42.
90. Ильин, В.Б. Влияние тяжелых металлов на рост, развитие и урожайность сельскохозяйственных культур / В.Б. Ильин, Г.А. Гармаш // Агрехимия, – 1985. – № 6. – С. 90-100.
91. Ильин, В.Б. О нормировании содержания тяжелых металлов в растениях / В.Б. Ильин // Химия в сельском хозяйстве, – 1987. – Т. 15. – №8. – С. 63-69.

92. СанПиН 2.3.2.1078-01. Гигиенические требования безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. – М.: Министерство здравоохранения РФ, – 2021. – 365 с.
93. Ратников, А.Н. Технологическая инструкция по мероприятиям, снижающим содержание радионуклидов в травостое лугов и пастбищ, загрязненных в результате аварии на Чернобыльской АЭС территории рязанской области /А.Н. Ратников. – Рязань: Горизонт, – 1992. – 35 с.
94. Янин, Е.П. Ремедиация территорий, загрязненных химическими элементами: общие подходы, правовые аспекты, основные способы (зарубежный опыт)/ Е.П. Янин // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, – 2014. – № 3. – С. 3–105.
95. Ратников, А.Н. Восстановление почв сельскохозяйственного назначения, загрязненных тяжелыми металлами/ А.Н. Ратников, Д.Г. Свириденко, Н.И. Санжарова // Тяжелые металлы и радионуклиды в окружающей среде: Материалы 6 Междунар. науч.–практ. конф, – 2010. – Т. 2. – С. 268-272.
96. Dermont, G. Soil washing for metal removal: A review of physical / G. Dermont, N. Bergeron, G. Mercier, M. Richer-Lafèche, G. Dermont, N. Bergeron, G. Mercier, M. Richer-Lafèche // Chemical technologies and field applications, – 2008. – 152. – № 1. –Р. 1-31.
97. EPA/540/2-90/017. Engineering Bulletin: Soil Washing Treatment. [Электронный ресурс], – Режим доступа: //http://nepis.epa.gov.
98. EPA 542-B-93-012. Innovative Site Remediation Technology. Soil Washing/Soil Flushing. –Vol. 3. – November 1993.
99. Mann, M.J. Full-scale and pilot-scale soil washing / J. Hazard. Mater., – 1999. – V. 66. – № 1-2. – P. 119-136.
100. Travis, C.C. Superfund: a program without priorities/ C.C. Travis, C.B. Dory //Environ. Sci. and Technol, – 1989. – № 11. – P. 1333-1334.
101. Королев, В.А. Очистка грунтов от загрязнений / В.А. Королев. – М.: Наука, – 2001. – 365 с.
102. Khan, F.I. An overview and analysis of site remediation technologies / J. Environ, F.I. Khan, T. Husain, R. Hejazi. – 2004. – V. 71. – P. 95-122.
103. Янин, Е.П. Ремедиация территорий, загрязненных химическими элементами: общие подходы, правовые аспекты, основные способы (зарубежный опыт)/ Е.П. Янин // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, – 2014. – № 3. – С. 3–105.
104. Track, T. Practicability of natural attenuation in Germany. Contaminated Soil / T. Track, J. Michels // International FZK/TNO Conference on Contaminated Soil, – 2000. – Vol. 2. – P. 1099-1100.
105. Вальников, И.У. Глауконит - новый мелиорант для почв Татарстана / И.У. Вальников, С.Ш. Нуриев, Г.С. Вафин // Мелиорация и водное хоз-во, – 1991. – № 12. – С. 46.

106. Кабата-Пендиас, А. Микроэлементы в почвах и растениях / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, – 1987. – 439 с.
107. Akhter, H., Immobilization of As, Cd, Cr and Pb - containing soils by using cement or pozzolanic fizzing agents / J. Hazardous Mater., – 1990. – № 2-3. – P. 145-155.
108. O`Sullivan, D. Soil remediation gains momentum / D. O`Sullivan // Chem. and Eng. News, – 1991. – № 47. – P. 24-26.
110. Янин, Е.П. Ремедиация территорий, загрязненных химическими элементами: общие подходы, правовые аспекты, основные способы (зарубежный опыт)/ Е.П. Яшин // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов, – 2014. – № 3. – С. 3–105.
111. Ульяненко, Л.Н. Технологические приемы в растениеводстве, повышающие устойчивость агроценозов в условиях техногенного загрязнения сельскохозяйственных угодий / под ред. Л.Н. Ульяненко. – Обнинск: ГНУ ВНИИСХРАЭ, – 2008. – 57 с.
112. Алексеев, Ю.А. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Ю.А. Алексеев. – Ленинград: Агропромиздат, – 1987. – 142 с.
113. Малыша, М.Н. Аграрная экономика: учебник / под ред. М.Н. Малыша. – СПб.: Лань, – 2002. – 688 с.
114. Оглоблин, Е.С. НТП в сельском хозяйстве / Е.С. Оглоблин, И.С. Санду // АПК: экономика и управление, – 2001. – №2. – С. 8-13.
115. Шафронов, А. Эффективность производства и факторы её роста / А. Шафронов // АПК: экономика, управление, – 2003. – №4. – С. 52-59.
116. Минакова, И.А. Экономика отраслей АПК / Под ред. И.А. Минакова. – М.: Колос С, – 2004. – 464 с.
117. Усольцев, И.В. Показатели и критерии эффективности Сельскохозяйственного производства / И.В. Усольцев // Вестник университета, – 2013, – С. 236-242.
118. Курбаков, Д.Н. Оценка экологического состояния снежного покрова в 30-километровой зоне Новолипецкого металлургического комбината / Д.Н. Курбаков, В. К. Кузнецов, Е.В. Сидорова, Н.В. Андреева, А.В. Саруханов, Н.В. Новикова, Е.О. Кречетникова // Экология промышленного производства, – 2021. – № 2(114). – С. 34-40.
119. Курбаков, Д.Н. Оценка экологического состояния снежного покрова в 30-км зоне влияния ООО «НЛМК-Калуга» / Д.Н. Курбаков, В.К. Кузнецов, Е.В. Сидорова, Н.В. Андреева, А.В. Саруханов, Е.О. Кречетникова // Сборник докладов XVI Международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева». Агроэкологические проблемы почвоведения и земледелия. – Курск: – 2021. – С.231-234.
120. Василенко, В.Н. Мониторинг загрязнения снежного покрова / В.Н. Василенко, И.М. Назаров, Ш.Д. Фридман. – Л.: Гидрометеиздат, – 1985. – 181 с.

121. Курбаков, Д.Н. Сравнительная оценка загрязнения тяжелыми металлами снежного покрова предприятиями черной металлургии / Д.Н. Курбаков, В.К. Кузнецов, Е.В. Сидорова, А.В. Саруханов, Н.В. Дементьева, Н.В. Новикова // Экология и промышленность России, – 2022. – Т. 26. – № 8. – С. 59-65.
122. Курбаков, Д.Н. Загрязнение снежного покрова в 30-километровой зоне электрометаллургического завода ООО "НЛМК-Калуга" / Д.Н. Курбаков, В.К. Кузнецов, Е.В. Сидорова, Н.В. Андреева, Н.В. Новикова, А.В. Саруханов // Экология промышленного производства, – 2020. – № 2 (110). – С. 51-55.
123. Информационно-аналитическая система [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://tr5.ru>
124. ГОСТ Р 70282-2022. Охрана окружающей среды. Поверхностные и подземные воды. Общие требования к отбору проб льда и атмосферных осадков. – М.: ФГБУ "РСТ", – 2022. – 5 с.
125. РД 52.04.186-89. Руководство по контролю загрязнения атмосферы. – СПб.: Гидрометеиздат, – 1991. – 694 с.
126. Берлянд, М.Е. Прогноз и регулирование загрязнения атмосферы / М.Е. Берлянд. – Л.: Гидрометеиздат, – 1985. – 272 с.
127. ГОСТ 17.4.3.01-2017. Охрана природы. Почвы. Общие требования к отбору проб. – М.: Стандартиформ, – 2018. – 5 с.
128. ГОСТ ISO 6497-2014. Корма. Отбор проб (Переиздание). – М.:ФГУП «Стандартиформ», – 2020. – 20 с.
129. Курбаков, Д.Н. Мониторинг загрязнения агроэкосистем в 30 км зоне ООО «НЛМК-Калуга» / Д.Н. Курбаков, Т.В. Прохорова, В.К. Кузнецов, А.И. Санжаров // Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук, –2016, – С 81-87.
130. Курбаков, Д.Н. Эффективность реабилитационных технологий в сельском хозяйстве на территориях, загрязненных тяжелыми металлами / Д.Н. Курбаков, А.В. Панов, Н.А. Сотникова // Авторское свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2017620776. От 18.08.2017.
131. Курбаков, Д.Н. Обзор базы данных по эффективности технологий ведения земледелия на территориях, загрязненных тяжелыми металлами / Д.Н. Курбаков, А.В. Панов // Современные проблемы радиобиологии и радиоэкологии: сборник докладов молодежного круглого стола в рамках XLVI международных радиоэкологических чтений, посвященным действующему члену ВАСХНИЛ В.М. Ключковскому. – Обнинск: ФГБНУ ВНИИРАЭ, – 2017. – 159 с.
132. Курбаков, Д.Н. Создание базы данных по эффективности технологий ведения сельскохозяйственного производства на территориях, загрязненных тяжелыми металлами / Д.Н.

Курбаков, А.В. Панов // XI Региональная научн. конференция «Техногенный системы и экологический риск». – Обнинск: –2014. – С.46-48.

133. Курбаков, Д.Н. Реабилитационные технологии для производства экологически безопасной сельскохозяйственной продукции на территориях, загрязненных тяжелыми металлами / Д.Н. Курбаков, А.В. Панов, В.Э. Куртмулаева, Р.А. Микаилова // Актуальные проблемы почвоведения, экологии и земледелия. Сборник докладов международной научно-практической конференции Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева». – Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, – 2018. – С. 235-239.

134. Бакалова, О.Н. Оценка экономической эффективности применения технологических приемов, повышающих устойчивость зерновых культур, картофеля и многолетних трав в условиях техногенного загрязнения / О.Н. Бакалова, Л.Н. Ульяненко, Т.Л. Жигарева, Н.И. Санжарова. – Обнинск: ГНУ ВНИИСХРАЭ, – 2008. – 18 с.

135. Бакалова, О.Н. Методика определения экономической эффективности технологических приемов, используемых при ведении растениеводства, кормопроизводства и животноводства на техногенно загрязненных территориях / О.Н. Бакалова, Т.Л. Жигарева, Г.И. Попова. – Обнинск: ГНУ ВНИИСХРАЭ, – 2009. – 55 с.

136. СанПиН 2.3.2.1078-01 Санитарно-эпидемиологические правила и нормы: Гигиенические требования к безопасности и пищевой ценности пищевых продуктов. – М.: Минздрав РФ, – 2002. – 64 с.

137. Временный максимально-допустимый уровень (МДУ) содержания некоторых химических элементов и госсипола в кормах для сельскохозяйственных животных и кормовых добавках. – М.: Агропромиздат, – 1989. – 4 с.

138. ТР ТС 021/2011 Технический регламент Таможенного союза: О безопасности пищевой продукции. - М.: АО "Кодекс", 2011. – 197 с.

139. Методические указания по получению экологически чистой сельскохозяйственной продукции на техногенно загрязненных территориях. – Обнинск: ВНИИСХРАЭ, – 2005. – 93 с.

140. Санжарова, Н.И. Методика оценки радиологической и экономической эффективности защитных мероприятий, проводимых в сельскохозяйственных предприятиях различных форм собственности / Н.И. Санжарова; О.Н. Бакалова; А.В. Панов. – Обнинск: ГНУ ВНИИСХРАЭ РАСХН, – 2008. – 27 с.

141. Курбаков, Д.Н. Накопление тяжелых металлов в урожае зерновых культур при длительном применении минеральных удобрений / Д.Н. Курбаков, В.К. Кузнецов, М.С. Хлопюк, Е.В. Сидорова // Агрехимия, – 2022. – № 3. – С. 74-80.

142. Курбаков, Д.Н. Поступление тяжелых металлов в почву с минеральными удобрениями / Д.Н. Курбаков, В.К. Кузнецов, И.В. Гешель, А.В. Панов, Р.А. Микаилова, А.В. Саруханов //

Актуальные проблемы почвоведения и земледелия. Сборник докладов международной научно-практической конференции. Курского отделения МОО «Общество почвоведов имени В.В. Докучаева». – Курск: ФГБНУ ВНИИЗиЗПЭ, – 2019. – С. 91-94.

143. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, – 1991. – 150 с.

144. Минеев В.Г. Проблема тяжелых металлов в современной земледелии. Тяжелые металлы и радионуклиды в агроэкосистемах / В.Г. Минеев. – М., – 1994. – С. 5-11.

145. Попова, Л.А. Влияние минеральных и органических удобрений на состояние тяжелых металлов в почвах / Л.А. Попова // Агрохимия, – 1991. – № 3. – С. 62-69

146. Gambuoe, F. Pollution of fertilizers with heavy metals / F. Gambuoe, J. Wiczorek // Ecological Chemistry and Engineering S, – 2012. – № 19(4-5). – P. 353-360.

147. Final opinion on new conclusions regarding future trends of cadmium accumulation in EU arable soils //Scientific committee on health and environmental risks. – Luxembourg: 2015. – 28 p.

148. Milinović1, J. Concentrations of heavy metals in NPK fertilizers imported in Serbia / J. Milinović1, V. Lukić, S. Nikolić-Mandić, D. Stojanović // Pesticidi i fitomedicina. Beograd, – 2008. – № 23. – P. 195-200.

149. Турекельдиева, Р.Т. Накопление кадмия в почве с фосфорными удобрениями / Р.Т. Турекельдиева. // Таразский государственный университет имени М.Х.Дулати. – Казахстан: – 3 С.

150. Минкина, Т.М. Накопление тяжелых металлов в системе почва-растение в условиях загрязнения / Т.М. Минкина, М.В. Бурачешский, В.А. Чаплыгин // Научные основы Российского НИИ проблем мелиорации, – 2011. – № 4 (04). – 17 с.

151. Пархоменко, Н.А. Агроэкологическая оценка действия тяжелых металлов в системе почва-растение: дис. канд. сельскохоз. наук. – Омск, – 2004. – 237 с.

152. ГОСТ 17.1.5.05-85. Охрана природы. Гидросфера. Общие требования к отбору проб поверхностных и морских вод, льда и атмосферных осадков. – М.: Стандартинформ, – 1986. – 11 с.

153. Карпова, Е.А. Тяжелые металлы в агроэкосистеме / Е.А. Карпова, В.Г. Минеев. – М.: Изд-во «КДУ», 2015. – 252 с.

154. Доклад. Состояние и охрана окружающей среды Липецкой области в 2018 году / Отв. ред. Г.П. Рощупкина – Липецк: Управление экологии и природных ресурсов, 2019. – 224 с.

155. Доклад. Состояние и охрана окружающей среды Липецкой области в 2011 году / Отв. ред. В.И. Русяков. – Липецк: Управление экологии и природных ресурсов, 2012. – 264 с.

156. Курбаков, Д.Н. Особенности распределения тяжелых металлов в почвах сельскохозяйственных угодий в зоне воздействия Липецкой промышленной агломерации / Д.Н.

- Курбаков, В.К. Кузнецов, В.С. Анисимов, К.В. Петров // *Агрохимический вестник*, – 2017. – № 6. – С 10-13.
157. Методические указания по проведению локального мониторинга на реперных участках. - М.: Минсельхозпрод, – 1996. – 17 с.
158. Виноградов, А.П. Среднее содержание химических элементов в главных типах изверженных пород земной коры / А.П. Виноградов // *Геохимия*. – 1952. – №7. – С. 55-57.
159. Официальный сайт НЛМК Калуга [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://kaluga.nlmk.com/ru/>
160. Официальный сайт Группы НЛМК [Электронный ресурс]. – Режим доступа <https://nlmk.com/ru/>
161. Солнцев, Л.А. Геоинформационные системы как эффективный инструмент поддержки экологических исследований. – Нижний Новгород: Нижегородский госуниверситет, – 2012. – 54 с.
162. Сельское хозяйство, пищевая промышленность. Торговая площадка: [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.agroserver.ru>.
163. Торговая площадка: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://flagma.ru>
164. Торговая площадка: [Электронный ресурс]. - Режим доступа: <https://leroymerlin.ru>
165. Национальный доклад «О ходе и результатах реализации в 2020 году Государственной программы развития сельского хозяйства и регулирования рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия». – Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», – 2021. – 240 с.
167. Компания ДР ГРИН [Электронный ресурс]. – 2023. Режим доступа <https://dr-green.by/kartofel-udobrenie>