

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ
ФГБОУ ВПО «ИРКУТСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АГРАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ ИМ. А.А. ЕЖЕВСКОГО»

На правах рукописи

БУТЫРИН Михаил Викторович

**ОСОБЕННОСТИ ФИТОЭКСТРАКЦИИ ТЯЖЕЛЫХ
МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ
РАСТЕНИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ТЕХНОЛОГИЯХ
РЕМЕДИАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ ПРЕДБАЙКАЛЬЯ**

Специальность 03.02.08 – экология (биологические науки)

ДИССЕРТАЦИЯ
на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Научный руководитель:

Доктор сельскохозяйственных наук,
профессор
Ш.К. Хуснидинов

Иркутск 2016

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
Глава 1 ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ РЕГИОНА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И МЫШЬЯКОМ, МЕТОДЫ ИХ ДЕТОКСИКАЦИИ	
1.1 Свойства, токсичность, источники и региональные особенности загрязнения природной среды тяжелыми металлами и мышьяком.....	9
1.2 Нормирование содержания тяжелых металлов и мышьяка в почвах, растениях, кормах и продуктах питания.....	18
1.3 Методы детоксикации тяжелых металлов и получения экологически безопасной продукции.....	25
1.4 Использование фитоэкстракции тяжелых металлов и мышьяка различными видами растений в технологиях ремедиации почв.....	31
1.5 Экологическая эффективность фиторемедиации почв.....	38
Глава 2 АБИОТИЧЕСКИЕ И ЭДАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РЕГИОНА	
2.1 Абиотические условия.....	47
2.2 Эдафические условия.....	54
Глава 3 ПРОГРАММА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ.....	61
Глава 4 ОСОБЕННОСТИ ФИТОЭКСТРАКЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ И ИХ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ТЕХНОЛОГИЯХ РЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ	

4.1 Оценка опасности загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами и мышьяком и состояние здоровья населения региона.....	65
4.2 Реакция растений на загрязнение почв тяжелыми металлами и мышьяком.....	70
4.3 Особенности потребления и накопления тяжелых металлов и мышьяка различными видами сельскохозяйственных растений.....	72
4.4 Использование фитоэкстракции тяжелых металлов и мышьяка различными видами растений в технологиях ремедиации почв.....	84
Глава 5 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РЕМЕДИАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ.....	95
5.1 Агроэкологические основы ремедиации почв: землевание и фиторемедиация	96
5.2 Технологические особенности землевания и фиторемедиации почв.....	97
5.3 Экономическая и экологическая эффективность фиторемедиации и землевания загрязненных почв	99
ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ.....	104
СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....	107
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ.....	109
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	122

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы исследований.

Большинство городов Иркутской области (Ангарск, Братск, Зима, Иркутск, Усолъе – Сибирское, Шелехов, Черемхово, Свирск) внесены в список городов России с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха различными токсическими веществами, что составляет 16 % от общего количества городов РФ.

По оценкам специалистов значительная часть пахотных земель Иркутской области (свыше 200 тыс. га), примыкающих к этим городам, подвержена техногенному загрязнению. Производимая в этих условиях растениеводческая продукция часто не соответствует санитарно-гигиеническим нормам содержания вредных для здоровья человека и животных токсических веществ (Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Иркутской области в 2012 году, 2012).

Для детоксикации тяжелых металлов (ТМ) и ремедиации плодородия загрязненных почв в настоящее время разработаны и рекомендуются разнообразные технологические приемы, среди которых наиболее доступным агроэкологически и экономически эффективным признана фитоэкстракция ТМ и мышьяка из загрязненной почвы при возделывании специальных растений-фитоаккумуляторов и их использования в технологиях фиторемедиации почв и выращивание растений, которые в условиях загрязнения обеспечивают получение экологически безопасной продукции (ЭБП).

Изучение фитоэкстракции ТМ и мышьяка различными видами растений и использование их потенциала в технологиях фиторемедиации и получения ЭБП в зональных условиях – одна из актуальных проблем регионального значения.

Степень разработанности темы исследований.

Фиторемедиация – один из способов эффективной очистки загрязненных тяжелыми металлами почв с помощью растений и ассоциируемых с ними микроорганизмов. Эффективность ее в научном плане связана с поиском и изучением растений, обладающих высоким коэффициентом накопления (КН), скоростью отчуждения (СО) и коэффициентом фитоэкстракции (КФЭ) ТМ и мышьяка; в производственном – в разработке технологии, связанной с выбором вида растения, интенсивностью и величиной отчуждаемого из почвенного покрова определенного вида поллютанта, ее экономической и энергетической обоснованностью. Предложенные нами растения-аккумуляторы, обладающие ярко выраженной фитоэкстракцией – горец растопыренный, свербига восточная, рекомендуются для использования в технологиях фиторемедиации. Однако, вопросы фитоэкстракции ТМ и мышьяка разными видами растений и технологии фиторемедиации в условиях региона остаются неизученными.

Цель и задачи.

Целью работы является изучение эколого-биологических особенностей и интенсивности фитоэкстракции ТМ и мышьяка различными видами растений и использования их в технологиях фиторемедиации загрязненных почв и получения ЭБП растениеводства в зональных условиях.

Задачи:

1. Оценить степень загрязнения почвенного и растительного покрова ТМ и мышьяком и состояние здоровья населения муниципального образования (МО) г. Свирск;
2. Изучить эколого-биологические особенности и интенсивность фитоэкстракции кадмия (Cd), свинца (Pb) и мышьяка (As) различными видами сельскохозяйственных растений: овощными, зелеными, кормовыми культурами и картофелем, а также новыми,

интродуцируемыми в Иркутской области культурами: свербигой восточной и горцем растопыренным;

3. По интенсивности поглощения ТМ и мышьяка классифицировать изучаемые растения на растения: индикаторы, исключители и аккумуляторы;
4. Разработать технологию фиторемедиации техногенно загрязненных почв с использованием потенциала горца растопыренного и свербиги восточной;
5. Дать экологическую, экономико-энергетическую и социальную оценку различным видам ремедиации почв: землеванию и фиторемедиации.

Научная новизна исследований. Впервые в условиях региона проведено изучение степени загрязнения почвенного покрова и возделываемых сельскохозяйственных культур, изучена реакция возделываемых растений на содержание в почвенном покрове ТМ (Cd, Pb) и As. По степени поглощения их из почвы выявлены растения индикаторы, отражатели, аккумуляторы. Для проведения фиторемедиации предложены растения-гипераккумуляторы – горец растопыренный и свербига восточная, разработана технология фитоочистки загрязненных ТМ почв. Дана сравнительная экологическая, экономическая и социальная эффективность фиторемедиации и землевания техногенно загрязненных почв.

Теоретическая и практическая значимость. Разработана и предложена технология фиторемедиации – приема использования высокого эколого-биологического потенциала растений-аккумуляторов и гипераккумуляторов для фитоэкстракции из загрязненной почвы ТМ (Cd, Pb) и As: свербиги восточной, горца растопыренного, люцерны посевной, эспарцета песчаного, растений-индикаторов для проведения биомониторинга и растений-отражателей, обладающих толерантными свойствами и используемых для получения экологически безопасной растениеводческой продукции (ЭБРП) в условиях техногенного загрязнения региона.

Методология и методика исследования.

Методология научного поиска основывалась на изучении комплекса вопросов по состоянию окружающей природной среды (ОПС) региона и здоровья проживающего населения, степени изученности проблемы оздоровления ОПС, разработанности технологии фиторемедиации техногенно загрязненных почв. Научные исследования осуществлялись с использованием рекомендованных методических рекомендаций.

Положения, выносимые на защиту:

1. Степень загрязнения почвенного и растительного покрова ТМ и мышьяком;
2. Интенсивность поглощения кадмия (Cd), свинца (Pb) и мышьяка (As) различными видами сельскохозяйственных растений, классификация растений на индикаторы, исключители и аккумуляторы;
3. Особенности использования растений-аккумуляторов: люцерны посевной, эспарцета песчаного, горца растопыренного, свербиги восточной в технологиях фиторемедиации техногенно загрязненных почв;
4. Агроэкономическая и энергетическая эффективность фиторемедиации и землевания.

Степень достоверности и апробация результатов исследований.

Результаты исследований подвергались статистической обработке, которая свидетельствует о их достоверности. Аналитические исследования проводились в лицензируемой лаборатории ФГБУ «ЦАС «Иркутский».

Основные результаты исследований были доложены на: Всероссийском научно-практическом семинаре «Ресурсосберегающие технологии производства экологически безопасной сельскохозяйственной продукции» (Иркутск, 2011); Научно-практическом семинаре, посвященном «Дню аспиранта ИрГСХА» (Иркутск, 2012), Международной научно-практической конференции молодых ученых (Иркутск, 2012), Научно-

практическом семинаре, посвященном «Дню аспиранта ИрГСХА» (Иркутск, 2013), Международной научно-практической конференции молодых ученых «Научные исследования и разработки к внедрению в АПК» (Иркутск, 2013), Международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию аспирантуры ИрГСХА «Экологическая безопасность и перспективы развития аграрного производства Евразии» (Иркутск, 2013), Региональной научно-практической конференции с международным участием, посвященной 80-летию ФГБОУ ВПО ИрГСХА «Современные проблемы и перспективы развития АПК» (Иркутск, 2014), Международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 70-летию Победы в ВОВ и 100-летию со дня рождения А.А. Ежевского (Иркутск, 2015).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 15 работ, в том числе 5 в изданиях ВАК.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, выводов, списка используемой литературы, включающего 127 источников. Диссертация изложена на 136 страницах машинописного текста, включает 41 таблицу, 21 рисунок и 20 приложений

Личный вклад. Автор принимал непосредственное участие в разработке программы и методики исследований, проведении полевых и лабораторных исследований, обработки результатов исследований, подготовки научных публикаций и диссертационной работы.

Благодарность. Автор выражает благодарность научному руководителю – д.с.-х.н., профессору Ш.К. Хуснидинову за всестороннюю помощь в проведении диссертационного исследования и консультации при работе над диссертацией, коллективу отдела агроэкологического анализа почв, растениеводческой продукции и агрохимикатов ФГБУ «ЦАС «Иркутский» в лице Истоминой Т.А. за помощь в проведении лабораторных исследований, а также сотрудникам отдела мониторинга почв, информационного обеспечения и ГИС технологий ФГБУ «ЦАС «Иркутский», Прощуку П.И., Александрову А.Ю., Сосницкой Т.Н.

Глава 1 ОСОБЕННОСТИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ РЕГИОНА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И МЫШЬЯКОМ, МЕТОДЫ ИХ ДЕТОКСИКАЦИИ И ФИТОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ

1.1 Свойства, токсичность, источники и региональные особенности загрязнения природной среды тяжелыми металлами и мышьяком

Из неорганических веществ ТМ относятся к числу наиболее опасных химических загрязнителей (Ложниченко, 2008).

Большинство ТМ в природе доступно для растений и бактерий только в очень малых концентрациях. Железо, медь, цинк, селен, марганец, молибден и некоторые другие элементы в микродозах необходимы для живых организмов. Они опасны только в больших, избыточных концентрациях. Свинец, кадмий, мышьяк, ртуть и их соединения, ядовиты для большинства высших животных и многих растений в любых концентрациях (Гальперин, 2003). Реакция живых организмов на поступление этих веществ в организм представлена на рисунке 1.

Промышленное извлечение ТМ из руд принципиально изменило их геохимические циклы, и концентрации многих металлов в природной среде повысились в десятки и сотни раз. Пока эти металлы находятся в связанном состоянии в своих природных депо — рудах и минералах, их количества в биосферных циклах ничтожны. Проблема состоит в том, что после извлечения из руд и попадания в биосферные круговороты веществ ТМ возвращаются в природные депо — осадочные породы чрезвычайно медленно (Гальперин, 2003).



Рисунок 1 – Биологический ответ в зависимости от концентрации необходимого (сплошная кривая) и опасного (штриховая кривая) вещества (Битюцкий, 2011)

Избыточное поступление металлов в экосистемы в результате антропогенного прессинга часто приводит к необратимым изменениям и нарушениям жизненно важных функций у большинства организмов. К ТМ условно относят химические элементы с атомной массой свыше 50, обладающие свойствами металлов и металлоидов (Ильин, 1982; Большаков, 2002).

Загрязнение природной среды ТМ имеет разные источники:

1. Отходы металлообрабатывающей промышленности;
2. Промышленные выбросы;
3. Продукты сгорания топлива;
4. Автомобильные выхлопы;
5. Средства химизации сельского хозяйства, минеральные удобрения, пестициды, бытовые отходы (Lisk,1972; Page,1974; Sommers,1977; Lantzy, Mackensic, 1979; El-Bassam, 1982; P:pEva, 1991; Устинов, 1991; Ильин, 1991; **Мищенко; 1995**).

Загрязнение ТМ атмосферы, почвы, культурных ландшафтов вызывает тревогу потому, что оно может значительно снизить продуктивность растений, в первую очередь сельскохозяйственных, необходимых для

питания человека, кормления животных, нарушить естественно сложившиеся фитоценозы, вызвать при определенных условиях угрозу серьезных деструкций ассимиляционного аппарата, привести к нарушению нормальных процессов органогенеза, снижению продуктивности фитомассы (Скарлыгина - Уфимцева, 1980; Тышкевич, 1991; Timmerbul, 1990; Kucharski, 1990).

ТМ особенно опасны тем, что обладают способностью накапливаться, образуя высокотоксичные металлосодержащие соединения, и потом вмешиваться в метаболический цикл живых организмов. Быстро изменяя свою химическую форму при переходе из одной природной среды в другую, они не подвергаются биохимическому разложению, но вступают в химические реакции друг с другом и неметаллами. Кроме того, ТМ являются катализаторами химических реакций, в том числе протекающих в почвах. Почва в свою очередь не только накапливает металлические загрязнения, но выступает как природный переносчик их в атмосферу, гидросферу и живую материю (Давыдова, 2002).

Главное негативное последствие загрязнения ТМ в том, что оно неизбежно ухудшает гигиеническое качество среды обитания человека, включая и гигиеническое качество продуктов сельского хозяйства. Потребление же экологически загрязненных ТМ продуктов растениеводства приводит к постепенному разрушению наследственной, иммунной, обменной систем человеческого организма (Ильин, 1991; Ягодин, 1995).

По степени опасности ТМ подразделяются на три класса:

1. Вещества высоко опасные: мышьяк, кадмий, ртуть, селен, свинец, цинк, фтор;
2. Вещества умеренно опасные: бор, кобальт, никель, молибден, медь, сурьма, хром;
3. Вещества мало опасные: барий, ванадий, вольфрам, марганец, стронций (Овчаренко и др., 1987).

Среди ТМ приоритетными загрязнителями являются Hg, Pb, As, Cd, Zn, Cu, Cr, Ni. Они поступают в организм человека и сельскохозяйственных животных в основном с растительной пищей, воздухом, водой.

Опасными являются высокие концентрации ТМ в почве и их избыточное поступление в организм человека и животных, откуда эти металлы выводятся очень медленно, накапливаясь главным образом в почках и печени. Кроме того, постоянное потребление растительной продукции даже со слабо загрязненных почв может приводить к кумулятивному эффекту, то есть к постепенному увеличению содержания ТМ в живом организме.

По мнению В.В. Ковальского и др. (1971) прогрессирующее загрязнение атмосферы, почв, растительного покрова токсическими веществами, являющимися продуктами хозяйственной деятельности человека, приводит снижению экологической, экономической и эстетической ценности окружающей среды.

Большинство городов Иркутской области (Ангарск, Братск, Зима, Иркутск, Усолье-Сибирское, Шелехов, Черемхово, Свирск) внесены в список городов России с наибольшим уровнем загрязнения атмосферного воздуха различными токсическими веществами, что составляет 16 % от общего количества городов страны (Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Иркутской области в 2012 году).

По оценкам специалистов значительная часть пахотных земель Иркутской области (свыше 200 тыс. га), примыкающих к этим городам, вследствие выбросов промышленных предприятий подвержена техногенному загрязнению и опустыниванию. Производимая в этих условиях растениеводческая продукция не соответствует санитарно-гигиеническим нормам содержания вредных для здоровья людей токсических веществ. Их накопление в продуктах питания часто превышает предельно-допустимые концентрации ПДК.

Санитарно-эпидемиологическая обстановка в этих районах Иркутской области очень сложная. Уровень показателей общей заболеваемости в целом

растет и продолжает сохраняться в пределах 180-220 обращений на 1000 человек населения.

По данным Федерального информационного фонда Иркутская область относится к территориям риска по 7 из 10 мониторинговым заболеваниям:

1. Гастрит и дуоденит (превышение среднероссийского показателя на 63,7 %);
2. Язва желудка (на 45,8 %);
3. Сердечно сосудистые заболевания (на 21,4 %);
4. Астма (на 36,8 %);
5. Ожирение (на 62,2 %);
6. Другие (на 18,1 %).

Анализ продолжительности жизни жителей показал, что из 83 субъектов России Иркутская область занимает с 74 по 79 позиции, в том числе средняя продолжительность жизни населения составляет 65,2 и 65,9 лет соответственно в 2010 и в 2011 годах – 76 позиция из 83; у мужчин – 58,8 и 59,5 лет (79 позиция); у женщин – 72,0 и 72,5 года (74 позиция) (Государственный доклад...,2012).

Причины заболеваемости связаны также с выбросами многих канцерогенных веществ: оксида углерода, диоксида азота, оксида азота, формальдегида, хлоридов, сульфидов и др.

Окружающая природная среда МО г. Свирск Черемховского района подвержена загрязнению ТМ (Pb, Cd) и мышьяком (As). Загрязнение мышьяком явилось следствием деятельности Ангарского металлургического завода (АМЗ), производящего мышьяк для нужд оборонной промышленности СССР в 1934-1949 годах (Баранова, 2007; Пшенко, 2009), а свинцовое и кадмиевое загрязнение следствием работы аккумуляторного завода, действующего с 1941 года по настоящее время и теплоэлектростанции (ТЭЦ).

Загрязнение мышьяком достигает 7,8-11,7 ПДК, свинцом 1,4-3,0 ПДК (Государственный доклад..., 2012). Анализ здоровья населения г. Свирска

свидетельствует о том, что из проживающих в городе 14720 жителей – 3280 человек (22,3 %) инвалиды. Они страдают сердечно сосудистыми, онкологическими заболеваниями, почечной недостаточностью, болезнями печени, опорно-двигательного аппарата и другими заболеваниями. Продолжительность жизни мужчин составляет 53 года, женщин – 68,7 лет.

Мышьяк. Атомная масса 74,9. Мышьяк – полуметалл, высокотоксичный элемент, содержащийся во всех объектах окружающей среды. Содержание мышьяка в почвах колеблется от 0,3 до 12,9 мг/кг. В почве он аккумулируется в пахотном слое, мигрируя на глубину 60 см (Черников, 2009).

Мышьяк накапливается в печени, почках, селезенке, легких, стенках пищеварительного тракта. Основное депо мышьяка – эритроциты и селезенка. Мышьяк долго сохраняется в костях и волосах.

При вдыхании пыли мышьяковых соединений происходит раздражение глаз и слизистых оболочек дыхательных путей, слезотечение и резь в глазах, покраснение конъюнктивы, набухание слизистой носа, насморк, чихание, кашель, иногда кровохаркание. При более тяжелых отравлениях наблюдаются желудочно-кишечные расстройства: сладковатый вкус во рту, тошнота, рвота, боли в животе.

Острые отравления приводят к нарушению центральной нервной системы (ЦНС), выражаются в общей слабости, болезненных судорогах, потери сознания и параличах жизненно важных центров продолговатого мозга. Смерть может наступить через несколько часов. Токсическая доза (ТД) мышьяка для человека 5-50 мг, летальная доза (ЛД) 50-340 мг (Илларионова, 2010).

Мышьяк считается канцерогенным для человека. Многочисленные эпидемиологические исследования показали определенную взаимосвязь между уровнем мышьяка в воздушной среде и заболеваниями рака легких (Хэммонд, 1993).

Мышьяк существует в нескольких аллотропических модификациях. Наиболее устойчив при обычных условиях металлический мышьяк. С кислородом мышьяк образует два окисла: As_2O_3 и As_2O_5 . Соединения мышьяка (арсениты) легко растворимы, но из-за его интенсивной сорбции (глинистыми частицами, гидроокислами и органическим веществом) миграция As не велика.

Наиболее подвижными формами мышьяка являются: AsO_2 , AsO_4 , $HAsO_4$, H_2AsO_2 . Наиболее распространенная форма в условиях окружающей среды – это As^{5+} (H_2AsO_4) и As^{3+} (H_3AsO_3), доминирующий только при низких значениях pH и в восстановительных условиях среды.

Арсениты легко фиксируются в почве глинистыми частицами, фосфатными гелями, гумусом и кальцием. Мышьяк, адсорбированный почвой, с трудом поддается десорбции, а прочность связывания его почвой с годами увеличивается, но мышьяк, связанный с оксидами железа и алюминия, может высвобождаться при гидролизе в результате снижения окислительно-восстановительного потенциала почвы.

Свинец. Атомная масса 207,2. Голубовато-белый ТМ. Он очень мягок. Все растворимые соединения свинца ядовиты. В организм человека свинец может поступать с водой, пищей, воздухом. Наиболее высокие концентрации наблюдаются на зубах. Свинец вызывает как острое, так и хроническое отравление. Острое отравление свинцом возникает при попадании его в организм через желудочно-кишечный тракт (ЖКТ). Оно выражается в наступлении сладковатого вкуса во рту, слюнотечении, тошноте, рвоте, судорожных болях в желудке. Симптомами отравления, являются плохой аппетит, рвота, выделение слюны, пульс замедляется до 40-50 ударов в минуту, повышается давление, присутствуют головные боли, бессонница, подавленность, мышечные боли.

Органами-мишенями при свинцовом отравлении являются кроветворная и нервная системы и почки. На уровне кроветворной системы проявляется анемия; на уровне нервной системы – поражение головного

мозга и периферических нервов. Мозговые поражения сопровождаются конвульсиями и бредом. ТД свинца для человека 1 мг, ЛД – 10 г (Илларионова, 2010).

В естественных условиях свинец существует в основном в форме PbS, присутствуя в виде Pb^{2+} и Pb^{4+} . Свинец образует ряд минералов, которые относительно плохо растворимы в природных водах. Сульфиды свинца окисляются медленно. Свинец может образовывать также карбонаты, входить в глинистые минералы, окислы железа и марганца, а также связываться с органическим веществом. Свинец способен замещать K, Ba, Sr и Ca в минералах и сорбционных позициях.

Среди всех ТМ свинец наиболее подвижен, что подтверждается относительно низким его содержанием в природных почвенных растворах. Свинец ассоциируется главным образом с поверхностью глинистых минералов, оксидами Mn, гидроокислами Fe и Al и органическими соединениями. В некоторых почвах свинец может концентрироваться в частицах карбоната кальция или фосфатных конкрециях.

Подвижность свинца сильно снижается при известковании почв. При высоких значениях pH свинец закрепляется в почве химически в виде гидроксида, фосфата, карбоната и Pb-органических комплексов. Сорбция свинца на монтмориллоните представляет особый катионообменный процесс, а на каолините и иллите адсорбция носит характер конкуренции.

Как правило, наибольшие концентрации свинца обнаруживаются в верхних слоях почвы (Овчаренко, 1997).

Избыточное содержание свинца в почве приводит к торможению прорастания семян растений, замедлению роста корней в длину, а также образования корневых волосков. Листья отравленных свинцом растений становятся хлоротичными в межжилковых зонах. Особенно сильно поражаются молодые листья (Байсеитова, 2014б).

Кадмий. Атомная масса 112,4. Серебристо-белый мягкий металл. Загрязнение почвы кадмием является одним из наиболее опасных экологических явлений (Овчаренко, 1997).

Основными источниками загрязнения являются предприятия по производству аккумуляторов, ТЭЦ, сельское хозяйство, в частности применение навоза, применение минеральных удобрений, в особенности фосфорных, сжигание отходов. Кадмий накапливается в почве, где он фиксируется на минеральных частицах.

Загрязнение кадмием приводит к задержке роста растений, повреждению корневой системы, хлорозу листьев и снижению урожая. Прекращение роста листовых овощных культур происходит при концентрации кадмия равной 0,9-1,5 мг/кг (Ступин, 2009). Также симптомы избыточного поступления в растения кадмия проявляются в постепенном изменении окраски кончиков листьев и черешков до красновато-бурой и пурпурной. При этом листья скручиваются, становятся хлоротичными и опадают. По силе своего действия на растения кадмий превосходит многие другие ТМ. Гибель растений отмечается при концентрации этого элемента в почве в количестве 30 мг/кг (Байсеитова, 2014б).

Уровень заболевания крупного рогатого скота (КРС) лейкозом коррелирует (коэффициент корреляции 0,65) с содержанием в почве кадмия.

У человека к поражению кадмием наиболее предрасположены почки. Кадмий оказывает воздействие на дыхательные пути, ЖКТ, растворимые формы после всасывания в кровь поражают ЦНС. Вызывают анемию, нарушают белковый, витаминный, фосфорно-кальциевый обмен, происходящий в почках. Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) считает, что предельно допустимое поступление кадмия в организм составляет 1 мкг на 1 кг массы тела в день (Герасименко, 2009).

Острое кадмиевое отравление проявляется в виде рвоты, спазма кишечника, головной боли. Попав с пищей в организм, кадмий транспортируется кровью в другие органы, где он связывается глутатионом и

гемоглобином эритроцитов. Хроническое отравление кадмием разрушает печень и почки, приводит к сильнейшему нарушению функции почек. Терапии для лечения кадмиевого отравления не существует. Обильный прием цинка, кальция, фосфатов, витамина D и белковая диета могут несколько ослабить отравление кадмием. В крови курильщиков содержится примерно в семь раз больше этого токсиканта, чем у некурящих (Мартин, 1993).

Соли кадмия в почве гидролизуются и их растворы имеют кислую реакцию. Кадмий по химическим свойствам близок к цинку и отличается от него еще большей подвижностью в кислых средах. В почвенном растворе кадмий присутствует в виде Cd^{2+} . Он может образовывать комплексные ионы ($CdCl$, $CdOH$, $CdHCO_3$, $CdCl_3$, $CdCl_4$, $Cd(OH)_3$) и органические хелаты. Подвижность кадмия в почве определяется уровнем реакции среды в почве и окислительно-восстановительным потенциалом. Основным методом снижения подвижности кадмия является повышение рН почвы путем известкования.

1.2 Нормирование содержания тяжелых металлов и мышьяка в почвах, растениях, кормах и продуктах питания

Проблема нормирования содержания ТМ в почве и растениях является чрезвычайно сложной из-за невозможности полного учета всех факторов природной среды. Например, изменение только агрохимических свойств почвы может в несколько раз уменьшить или увеличить содержание ТМ в растениях. В тоже время для решения практических вопросов необходимы определенные критерии или количественные параметры, характеризующие степень опасности загрязнения почвы и растений ТМ.

Природные объекты: воздух, вода, почва и продукты питания являются контролируемыми по накоплению токсических веществ и входят как обязательные в систему мониторинга. В основу действующих природоохранных разработок должны быть положены уже установленные предельно-допустимые концентрации (ПДК) ТМ в природных объектах. Основой действующих природоохранных мероприятий является определение ТМ в воздухе, воде, почве, растительной продукции и продуктах питания. Система ПДК, допустимых остаточных концентраций (ДОК) и суточные нормы потребления токсических веществ с воздухом, водой, пищей человеком (животным) служит базисом санитарно-гигиенических требований (СГТ) при разработке природоохранных мероприятий (ПОМ).

Уровень содержания ТМ в растениях, величина их урожая, химический состав и технологические показатели с различной степенью тесноты коррелируют с содержанием ТМ в почве. Поэтому первой и наиболее важной задачей является нормирование токсических веществ именно в почве, которая имеет свои специфические особенности.

При разработке ПДК ТМ в почве применяются данные о количестве их валовых форм. Этот принцип нашел наибольшее распространение.

А. Кабата-Пендиас и Х. Пендиас (1989) приводят данные различных авторов о валовых формах ТМ в поверхностном слое почв, которые считаются предельными по фитотоксичности.

Таблица 1 – Колебания концентраций тяжелых металлов в почве, считающиеся предельными по фитотоксичности (А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас, 1989)

Элемент	мг/кг	Элемент	мг/кг
Ag	2	Mn	1500-3000
As	15-50	Ni	100
Cd	3-8	Pb	100-200
Co	25-50	Zn	70-400
Cr	75-100	Sb	5-10
Cu	60-125	Se	5-10
Hg	0.3-5	V	5-100

Наиболее полную информацию о вероятной токсичности ТМ дают результаты определения нескольких форм ТМ, содержащиеся в почве.

И.Г. Важенин (1982) предложил для полной характеристики состояния почвы по наличию в ней потенциально токсических элементов определять следующие их четыре формы:

1. Валовое количество ТМ;
2. Концентрация ТМ, переходящего в 1н НСl вытяжку;
3. Концентрация ТМ, извлекающегося ацетатно-аммонийным буфером (рН 4,8);
4. Концентрация ТМ в водной вытяжке.

Шкалу предельно допустимых подвижных форм ТМ, извлекаемых 1н раствором НСl разработал Х. Чулджиян (1988).

Таблица 2 – Предельно-допустимые содержания подвижной формы ТМ в почве, мг/кг; экстрагент 1н НСl (Х. Чулджиян, 1988)

Элемент	Содержание	Элемент	Содержание	Элемент	Содержание
Hg	0.1	Sb	15	Pb	60
Cd	1.0	As	15	Zn	60
Co	12	Ni	36	V	80
Cr	15	Cu	50	Mn	600

В соответствии с принятой медиками-гигиенистами схемой нормирования ТМ в почвах подразделяются на транслокационное (переход нормируемого элемента в растения), миграционное воздушное (переход в воздух), миграционное водное (переход в воду) и общесанитарное гигиеническое (влияние на самоочищающую способность почвы и почвенный микробиоциноз).

Официально утвержденные ПДК химических веществ в почвах и допустимые уровни их содержания по показателям вредности представлены валовыми формами их содержания.

Таблица 3 – ПДК химических веществ в почвах и допустимые уровни их содержания по показателям вредности (по состоянию на 01.01.1991. Госкомприрода СССР № 02-2333 от 10.12.90)

Элементы	ПДК, мг/кг почвы	Показатели вредности		
		транслокационный	водный	общесанитарный
Свинец	30,0	35,0	260,0	30,0
Мышьяк	2,0	2,0	15,0	10,0

Разработанные в 1995 г. «Ориентировочные допустимые концентрации (ОДК) тяжелых металлов и мышьяка в почвах с различными физико-химическими свойствами» содержат показатели валового содержания Cd, Pb, As, связанные с уровнем реакции среды и гранулометрическим составом почвы.

Таблица 4 – ОДК свинца, кадмия и мышьяка в почвах с различными физико-химическими свойствами (валовое содержание, мг/кг) (дополнение к перечню ПДК и ОДК №6229-91) (Аристахов, 2000)

Элемент	Группа почв	ОДК с учетом фона	Агрегатное состояние вещества в почвах	Класс опасности	Особенности действия на организм
1	2	3	4	5	6
Мышьяк	А) песчаные и супесчаные	2	Твердое: в виде солей органо-минеральных соединений, в сорбированном виде, в составе минералов	1	Ядовитое вещество, ингибирующее различные ферменты, оказывает отрицательное действие на метаболизм. Возможно канцерогенное действие
	Б) кислые, рН-5,5 суглинистые и глинистые	5			
	В) близкие к нейтральным, рН>5,5, нейтральные суглинистые и глинистые	10			
Свинец	А) песчаные и супесчаные	32	Твердое: в виде солей органо-минеральных соединений, в сорбированном виде, в составе минералов	1	Разностороннее негативное действие. Блокирует Sh группы белков, ингибирует ферменты, вызывает отравления, поражение нервной системы.
	Б) кислые, рН-5,5 суглинистые и глинистые	65			
	В) близкие к нейтральным, рН>5,5, нейтральные суглинистые и глинистые	130			

Продолжение таблицы 4

1	2	3	4	5	6
Кадмий	А) песчаные и супесчаные	0,5	Твердое: в виде солей органно-минеральных соединений, в сорбированном виде, в составе минералов	1	Сильно ядовитое вещество, блокирует сульфгидрильные группы ферментов, нарушает обмен железа и кальция, нарушает синтез ДНК.
	Б) кислые, рН-5,5 суглинистые и глинистые	1,0			
	В) близкие к нейтральным, рН>5,5, нейтральные суглинистые и глинистые	2,0			

Представленные ОДК позволяют получить более полную характеристику о загрязнении почвы кадмием, свинцом и мышьяком.

ПДК ТМ в почве можно установить, ориентируясь на предельно допустимое содержание их в продуктах питания растительного происхождения, то есть ПДК ТМ в растении ставится в зависимость от ПДК его в почве. При этом санитарно-гигиеническое нормирование должно обеспечить получение растительной продукции, безвредной для человека.

В настоящее время предложены различные количественные параметры допускаемых остаточных количеств ТМ в пищевых продуктах и кормах (Найштейн, 1987).

Таблица 5 – Допустимое остаточное количество тяжелых металлов в пищевых продуктах, мг/кг (Найштейн и др., 1987)

Элемент	Рыбо-продукты	Мясо-продукты	Молочные продукты	Хлебные продукты	Овощи	Фрукты	Соки и напитки
Hg	5,0	0,03	0,005	0,01	0,02	0,01	0,005
Cd	0,1	0,05	0,001	0,02	0,03	0,03	0,02
Pb	1,0	0,5	0,05	0,2	0,5	0,4	0,4
As	1,0	0,5	0,05	0,2	0,2	0,2	0,2
Cu	10,0	5,0	0,5	5,0	10,0	10,0	5,0
Zn	40,0	40,0	5,0	25,0	10,0	10,0	10,0
Fe	30,0	50,0	3,0	50,0	50,0	50,0	15,0
	200	200	100	-	200	100	100
	0,5	0,1	0,05	0,1	0,3	0,3	0,3
Ni	0,5	0,5	0,1	0,5	0,5	0,5	0,3
Se	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Cr	0,3	0,2	0,1	0,2	0,2	0,1	0,1

В соответствии с методикой обследования почв сельскохозяйственных угодий на содержание ТМ, принята группировка для эколого-

Таблица 6 – Временный максимально-допустимый уровень (МДУ) химических элементов в кормах для сельскохозяйственных животных
(мг/кг корма)

Элемент	Комбикорма					Зерно и зерно- фураж	Грубые и сочные корма	Корне- клубне- плоды	Корма микробного синтеза	Минераль- ные добавки	Корма для производства продуктов детского питания
	птица		КРС откорм	МРС молочный	свиньи						
	откорм	яйценос									
Hg	0,05	0,05	0,1	0,05	0,1	0,1	0,05	0,05	0,1	0,1	0,05
Cd	0,4	0,3	0,4	0,3	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,2
Pb	5,0	3,0	5,0	3,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	50,0	2,0
As	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	2,0	50,0	0,5
Cu	80,0	80,0	30,0	80,0	80,0	30,0	30,0	30,0	80,0	500,0	30,0
Zn	100,0	50,0	100,0	50,0	100,0	50,0	50,0	100,0	100,0	1000,0	50,0
Fe	200,0	100,0	200,0	100,0	200,0	100,0	100,0	100,0	200,0	3000,0	100,0
	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	2,0	5,0	0,5
Ni	3,0	1,0	3,0	1,0	3,0	1,0	3,0	3,0	3,0	20,0	1,0
Se	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	1,0	2,0	5,0	0,5
Cr	1,0	0,5	1,0	0,5	1,0	0,5	0,5	0,5	2,0	5,0	0,5
F	50,0	20,0	20,0	10,0	50,0	10,0	20,0	20,0	100,0	2000,0	10,0
I	5,0	2,0	5,0	2,0	5,0	2,0	2,0	5,0	5,0	50,0	2,0
Mo	3,0	2,0	3,0	2,0	3,0	2,0	2,0	2,0	3,0	10,0	2,0
Co	3,0	2,0	3,0	2,0	2,0	1,0	1,0	2,0	3,0	20,0	1,0

токсикологической оценки, включающая содержание восьми элементов: мышьяка, ртути, свинца, цинка, кадмия, меди, никеля и хрома в валовой форме и шести элементов: свинца, цинка, меди, никеля, хрома, кобальта – в подвижной форме, извлекаемой ацетатно-аммонийным буферным раствором.

Группировка почв для эколого-токсикологической оценки по содержанию ТМ производится с выделением территорий, относящихся к зонам экологического бедствия (пятая группа) и зонам чрезвычайной экологической ситуации (четвертая группа). Почвы, отнесенные к третьей группе эколого-токсикологической оценки, считаются пригодными для возделывания всех сельскохозяйственных культур. Однако на этих территориях вся продукция растениеводства должна контролироваться на содержание ТМ и обязательно следует проводить мероприятия по снижению подвижности ТМ в почве.

Таблица 7 – Группировка почв для эколого-токсикологической оценки по содержанию валовых форм ТМ (мг/кг)

Тяжелые металлы	Класс	Группы				
		1	2*	3	4	5
Мышьяк	1	<1,0	1,0-2,0	2,1-4,0	4,1-6,0	>6,0
Ртуть	1	<1,0	1,0-2,1	2,2-4,2	4,3-6,2	>6,2
Свинец	1	<16,0	16,0-32,0	32,1-64,0	64,1-96,0	>96,0
Цинк	1	<50,0	50,0-100,0	101,0-200,0	201,0-300,0	>300,0
Кадмий	1	<1,5	1,5-3,0	3,1-6,0	6,1-9,0	>9,0
Медь	2	<20,0	20,0-55,0	56,0-275,0	276,0-550,0	>550,0
Никель	2	<42,0	42,0-85,0	85,0-425,0	426,0-850,0	>850,0
Хром	2	<50,0	50,0-100,0	101,0-500,0	501,0-1000,0	>1000,0

Таблица 8 – Группировка почв для эколого-токсикологической оценки по содержанию подвижных форм ТМ, мг/кг (ацетатно-амморфный буферный раствор, рН-4,8)

Тяжелые металлы	Класс	Группы				
		1	2	3	4	5
Свинец	1	<3,0	3,0-6,0	6,1-12,0	12,1-18,0	>18,0
Цинк	1	<10,0	10,0-23,0	23,1-46,0	46,1-69,0	>69,0
Медь	2	<1,5	1,5-3,0	3,1-15,0	15,1-30,0	>30,0
Никель	2	<2,0	2,0-4,0	4,1-20,0	20,1-40,0	>40,0
Хром	2	<3,0	3,0-6,0	6,1-30,0	30,1-60,0	>60,0
Кобальт	2	<2,5	2,5-5,0	5,1-25,0	25,1-50,0	>50,0

На территориях первой и второй групп эколого-токсикологической оценки производится любая сельскохозяйственная продукция с выборочным контролем ее качества.

1.3 Методы детоксикации тяжелых металлов и получения экологически безопасной продукции

Основной средой, в которую попадают ТМ, в том числе из атмосферы и водной среды является почва. Она же служит источником вторичного загрязнения приземного слоя воздуха и вод. Из почвы ТМ усваиваются растениями, которые затем попадают в пищу человека и животных (Джувеликян, 2009).

Для производства экологически безопасной продукции растениеводства необходимо создание таких условий возделывания сельскохозяйственных культур, при которых поступление в культурное растение ксенобиотиков сводилось бы к допустимому минимуму или совсем не происходило (Лунев, 2004).

Существуют химические, агротехнические и биологические приемы снижения загрязнения растений ТМ. Для загрязненных почв способы, снижающие транслокацию ТМ в растения, основаны на двух принципах: перевода катионов ТМ в слабодоступные растениям формы или в подвижные соединения с последующим выщелачиванием. Наиболее распространены способы, базирующиеся на переводе катионов металлов в малоподвижные формы при использовании больших доз органического вещества, известкования, фосфоритирования, глинования, реже применяют цеолиты и ионообменные смолы (Вяйзенен, 1997).

М.А. Овчаренко и др. (1997 г.) установили, что основным приемом снижения степени загрязнения и подвижности большинства ТМ является интенсивное известкование. При известковании загрязненных почв

рекомендуется вносить дозы известковых удобрений, обеспечивающих доведение рН почвы до уровня 6,5-6,7. Обычные рекомендуемые дозы известковых удобрений при химической мелиорации почв, загрязненных ТМ, мало эффективны. Дозы известковых удобрений, как правило, рассчитывают, используя метод гидролитической кислотности (целесообразно 2,5Нг). В зависимости от рН_{КСl} дозы СаСО₃ могут колебаться от 5,5 т/га при рН 6,3-6,4, до 22 т/га при рН 4,5-4,6, причем дозу более 10 т/га следует вносить в два приема.

Подвижность ТМ существенно изменяется под действием минеральных удобрений. Фосфорные удобрения обладают значительной способностью их детоксикации. Это объясняется тем, что большинство металлофосфатов являются нерастворимыми соединениями. Кроме того, при внесении фосфорных удобрений в почвенном растворе появляется больше ионов кальция – антагониста свинца, что также препятствует поступлению свинца в растения (Гогмачадзе, 2010). Дозы фосфорной муки должны соответствовать 300-500 кг/га Р₂О₅, суперфосфата 120-150 кг/га Р₂О₅. Конкретные дозы удобрений уточняются с учетом обеспеченности почвы питательными элементами, планируемых урожаев и выноса фосфора из почвы.

Применение органических удобрений: торфо-навозных компостов, навоза, сидератов, соломы, увеличивающих запасы гумуса в почве, ее буферную способность и поглощающую емкость, являются эффективным средством снижения подвижности ТМ. Органические удобрения применяются в максимально возможных дозах с учетом потребности сельскохозяйственных культур в азоте и содержания его в корнеобитаемом слое почвы. Чтобы не было избыточного накопления нитратов в растительной продукции (Овчаренко, 1997).

Органические и органо-минеральные коллоиды характеризуются большей сорбционной емкостью, чем минеральные коллоиды. Органическое вещество обладает способностью прочного соединения микроэлементов, уменьшая при этом их поглощение растениями и как следствие способствует детоксикации загрязненных почв (Нейтрализация загрязненных почв..., 2008).

Таким образом, наиболее значимыми факторами, повышающими устойчивость почв к загрязнению ТМ, является увеличение их поглотительной способности и рН за счет внесения мелиорантов органического и минерального происхождения (торф, лигнин, навоз, растительные компосты, известь, глина, цеолиты и др.) (Галактионова, 1993).

Однако, внесение в почву свежего навоза может способствовать миграции ТМ вниз по почвенному профилю (Евдакимова, 1983), а применение низких доз цеолитов (5 и 10 г/кг почвы) не оказывает достоверного влияния на уменьшение содержания подвижных форм ТМ, высокие же дозы (35-50 г/кг) – существенно уменьшают количество цинка и свинца в почве, в то же время кадмий, являясь наиболее токсичным и лабильным из изученных металлов, слабо поглощается цеолитами. Но цеолиты в таких больших дозах ухудшают питательный режим почв (Байдина, 1994).

ТМ сложным образом взаимодействуют с гумусом. При небольшом загрязнении гумусовые кислоты способны инактивировать ТМ, закрепляя их. При этом стабилизируется органическое вещество и снижается его подвижность. Но с ростом загрязнения почвы начинается обратное влияние: изменяется состав гумуса, а затем и уменьшается его содержание (Водяницкий, 2012).

В решении проблемы гумусирования почвы большое значение имеет фитомелиорация (Хуснидинов, 2015).

В.Г. Граковский и др. (1994) установили, что существенное значение имеет перераспределение загрязнителей по профилю почвы в момент механической обработки. Обычная вспашка почвы отвальным плугом, является эффективным и экономически целесообразным приемом. Например, в зоне Чернобыльского следа применение двухъярусного плуга, способного перемещать поверхностный слой почвы (5-7 см) на глубину до 25 см, при условии окультуривания поднятого слоя почвы, позволило примерно в 10 раз снизить загрязнение травостоя.

Глубокая обработка почвы применяется с целью разбавления загрязненного слоя почвы. В качестве основной обработки загрязненных почв также рекомендуется применять безотвальное рыхление или чизелевание.

Снижение содержания ТМ происходило в результате фрезерования почвы (Сосницкая, 2014).

Важнейшим технологическим приемом восстановления почв является землевание (Герасименко, 2009) – комплекс работ по снятию, транспортировке и нанесению плодородного слоя почвы и потенциально пригодных пород на рекультивируемые участки. Если снятую почву нельзя сразу же нанести на подготовленные рекультивируемые участки, то ее складывают в бурты высотой 5-10 м и засевают травосмесями для предотвращения водной эрозии и дефляции.

Технология землевания строится из расчета минимального числа проходов техники по участку с целью недопущения чрезмерного переуплотнения почвогрунта.

Землевание может быть сплошным или выборочным, обычным и комбинированным. Обычное землевание проводится в один прием, без перемешивания основных и наносимых почв. Комбинированное осуществляется в два этапа: нанесение плодородного слоя толщиной 10-15 см и перемешивание его с улучшаемой почвой или породой; повторное нанесение плодородного слоя почвы до запроектированной нормы.

Для возвращения нарушенных земель в сельское хозяйство необходим предварительный анализ химического состава пород и их агрономическая оценка. Результаты анализов используются для того, чтобы избежать нанесения и вынесения фитотоксичных пород в верхние слои рекультивируемых почвогрунтов. Мощность корнеобитаемого слоя почвы должна достигать 80 см – для зерновых культур и 150 см – для плодовых.

Ландфарминг – это биовосстановление извлеченной загрязненной почвы, распределенной по поверхности выделенного земельного участка слоем до 50 см (Ступин, 2009). Эта почва регулярно перемешивается и переворачивается для улучшения почвенной структуры и снабжения ее кислородом. Для придания почве необходимой влажности и введения с водой элементов минерального питания, рекомендуется полив. Обрабатываемый слой рекомендуется размещать

на водонепроницаемой подстилке (мембране), чтобы обеспечить полный сбор образующихся промывных вод.

Различные сельскохозяйственные культуры обладают способностью избирательно относиться к поглощению различных металлов. Эти свойства растений необходимо использовать для выращивания на участках с повышенным содержанием ТМ.

Изучение чувствительности растений к действию поллютантов имеет большое практическое значение. С одной стороны, необходимо выявить растения, наиболее чувствительные к загрязнению почв, для определения опасного уровня загрязнения последних, а с другой стороны, необходимо найти наиболее устойчивые к токсикантам культуры с целью безопасного использования загрязненных почв (Плеханова, 2001).

Подбор сельскохозяйственных культур, устойчивых к загрязнению, является наиболее простым и доступным способом ведения земледелия на загрязненных ТМ почвах. Для примера на рисунке 2 показана чувствительность основных сельскохозяйственных культур к загрязнению почв кадмием.

Накопление кадмия в растениях	больше	салат, шпинат, лук, укроп, петрушка	больше	Чувствительность сельскохозяйственных культур
		огурцы, томаты, кабачки		
		свекла, морковь, капуста, лук (репка), турнепс, редис		
	меньше	картофель, пшеница, кукуруза, ячмень, овес, рожь, бобы, горох	меньше	

Рисунок 2 – Чувствительность основных сельскохозяйственных культур к загрязнению почв кадмием

При низком загрязнении почвы, когда содержание хотя бы одного из металлов достигает ПДК, необходимо применять комплекс мероприятий по устранению последствий загрязнения. На таких почвах нельзя выращивать наиболее чувствительные к ТМ культуры (салат, шпинат, укроп, лук, петрушку). На таких почвах не рекомендуется также выращивать корневые культуры.

Таблица 9 – Мероприятия по использованию почв в зависимости от их загрязнения тяжелыми металлами (Обухов, 1980)

Содержание	Уровни	Мероприятия
	Очень низкий	При низком содержании в почве важнейших элементов (медь, цинк, марганец, кобальт и др.) – применение микроудобрений
	Средний	Не требуется
	Повышенный	Устранение влияния источника загрязнения и периодический контроль почв и продукции
	Высокий	Обязательное устранение влияния источника загрязнения, постоянный контроль содержания ТМ в почвах и продукции
Загрязнение	Низкая ПДК	Подбор сельскохозяйственных культур, не накапливающих ТМ; комплекс технологических приемов по уменьшению поступления ТМ в продукцию (известкование, применение органических и минеральных удобрений и др.); исключить выращивание зеленных культур и овощей
	Средняя ПДК	Выращивание сельскохозяйственных культур, не накапливающих ТМ (зерновые, семенники трав, технические культуры, саженцы плодовых культур, цветоводство) с обязательным комплексом мер по снижению поступления ТМ в продукцию
	Очень высокая ПДК	Исключить выращивание культур для продовольственных целей. Необходимы дополнительные меры по рекультивации этих почв

На этих почвах можно выращивать корнеклубнеплоды (за исключением свеклы) при условии применения необходимых агрохимических мероприятий, направленных на снижение подвижности ТМ (технические, семенники и др.), при интенсивном применении агрохимических и агротехнических мероприятий, снижающих поступление ТМ в продукцию. При очень высоком уровне загрязнения почвы необходим специальный комплекс работ, так как обычные меры будут малоэффективны и будет происходить не только загрязнение продукции ТМ, но и снижение урожая, в отдельных случаях вплоть до его полной гибели.

1.4 Использование фитоэкстракции тяжелых металлов и мышьяка различными видами растений в технологиях производства экологически безопасной продукции растениеводства

Избыток ТМ в среде обитания, как правило, приводит к их повышенному накоплению растительными организмами, при этом величина и характер поглощения у разных видов растений имеет свою специфику:

1. Растения-индикаторы. Виды, аккумулирующие элемент прямо пропорционально его содержанию в среде;
2. Растения-аккумуляторы. Растения, накапливающие элемент даже при низком его количестве в почве;
3. Растения-исключители. Растения, не реагирующие повышением содержания элемента в тканях даже при его избытке в среде (Baker, 1981; Antosiewicz, 1992).

Как уже подчеркивалось, в условиях повышенного содержания ТМ в среде произрастания, растения выработали различные стратегии устойчивости, в основе которых заложены два противоположных принципа – аккумулярование с последующей изоляцией токсикантов и, так называемая толерантность-избегание, когда растение с помощью различных механизмов снижает доступность металлов в корневой зоне (Андреева, 2009).

Кроме этого, у растительных организмов выделяют два вида устойчивости: основная устойчивость, присущая большинству растений и гиперустойчивость к определенным металлам (Кулаева, 2010).

Растения используют два пути приспособления к высоким концентрациям избыточных ионов в среде обитания:

1. Ограничение их поступления в организм и отдельные его части благодаря наличию защитного механизма, природа которого пока не ясна;

2. Инактивация поступающих в растения ТМ, их вывод в менее поражаемые компартоменты, а также изменение метаболических путей (Ильин, 1982).

Таким образом, различные виды растений отличаются по способности накапливать ТМ. Растения, аккумулирующие элемент, даже в условиях его относительного дефицита в почве, называются аккумуляторами. Виды, накапливающие элемент прямо пропорционально его уровню в среде называются индикаторами, их рекомендуется использовать для биомониторинга. Растения, в которых уровень элемента длительное время остается на низком уровне даже при избытке в среде называются отражателями (Чиркова, 2002).

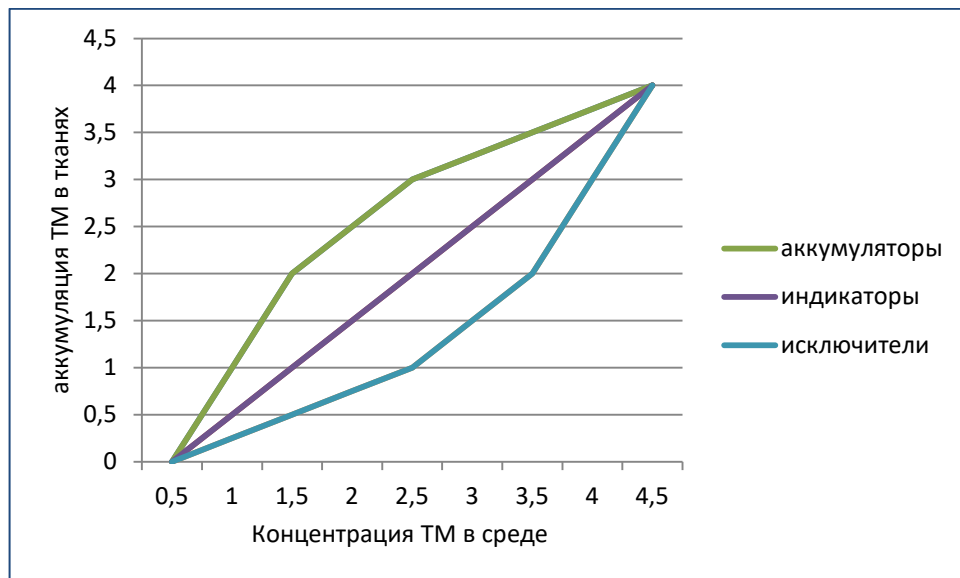


Рисунок 3 – Аккумулятивные «стратегии» растений (Prasad, 1999)

Толерантность растений к токсикантам не представляет собой единый механизм, а включает в себя несколько метаболических процессов: селективное поглощение ионов; пониженная проницаемость мембран; иммобилизация ионов в корнях, листьях, семенах; удаление ионов из метаболических процессов, путем отложения их в фиксированных или нерастворимых формах в различных органах и органеллах; удаления ионов из растений при вымывании через листья, сокодвижении, сбрасывании листьев и выделении через корни (Кабата-Пендиас, 1989).

Механизмы устойчивости различных видов растений к повышенному содержанию ТМ изучены недостаточно. Устойчивость растений к одному металлу не распространяется на другой, то есть она сугубо специфична. По-видимому, эта устойчивость является генетически закрепленным признаком, который можно использовать в различных технологиях очистки окружающей среды (ОС) при помощи растений.

А.Л. Ковалевский (1969) считает, что развитие толерантности происходит довольно быстро и имеет генетическую основу.

Генетический анализ популяций высших растений показал, что основная устойчивость к некоторым металлам (мышьяк, медь, цинк) скорее всего, определяется одним или двумя генами и работой генов-модификаторов, определяющих уровень толерантности. Устойчивость к определенному металлу обычно контролируется геном (или генами), отличными от генов, определяющих устойчивость к другому металлу (Кулаева, 2010).

Важную роль в защите растений от избытка поступающих из почвы металлов выполняет корневая система. Задерживая избыточные ионы, корни тем самым способствуют сохранению в надземных органах благоприятных (или не вредных) концентраций химических элементов (Гиниятуллин, 2010).

ТМ могут извлекаться корнями растений из глубоких слоев почвы и, как показывают радиографические исследования с мечеными атомами, накапливаться во всей толще стеблей, прожилках листьев и периферии плодов (Капитонова, 2010).

Уровень накопления ТМ в репродуктивных органах растений значительно ниже, чем в вегетативных и определяется биологическими особенностями возделываемой культуры. Так, например, у капусты белокочанной содержание всех ТМ возрастает (примерно в 3-5 раз) по направлению от внешних листьев кочана к его кочерыге (Черников, 2009).

У разных видов растений в разной степени выражены защитные механизмы, препятствующие поступлению токсических элементов. Таким механизмом служит избирательность проницаемости мембран растительной клетки. При

высоком содержании в почве ТМ в растения поступают такие их количества, которые мембраны уже не способны удерживать. Следствием этого становится нарушение функций синтеза ферментов, витаминов и гормонов, расстраиваются функции митохондрий и хлоропластов, нарушается водный обмен, фотосинтез, дыхание, транспирация. В конечном итоге токсичность ТМ проявляется через разбалансировку процессов деления клеток и репликации дезоксирибонуклеиновой кислоты (ДНК) (Никифорова, 2006).

Зависимость между содержанием элемента в растении и почве характеризуется индексом биологического поглощения, под которым понимают отношение содержания элемента в золе растения к содержанию его в почве (Капитанова, 2000; Кузнецов, 2010).

Чтобы оценить интенсивность биологического поглощения элемента, надо сравнить содержание этого элемента в растении и источнике, откуда этот элемент поступает (Добровольский, 2003).

Исследования, проведенные В.А. Черниковым (2009), показали, что устойчивыми к высоким содержаниям мышьяка были: картофель (*Solanum tuberosum*), томаты (*Solanum lycopersicum*), морковь (*Daucus carota*), виноград (*Vitis*), малина (*Rubusidaeus*); среднеустойчивыми: земляника (*Fragaria*), кукуруза (*Zea máys*), свекла (*Beta*), тыква (*Cucúrbita*), кабачки (*Cucúrbita pépo*); слабоустойчивыми: лук (*Allium*), горох (*Písum*), огурцы (*Cucumis sativus*).

Дикорастущие плоды, ягоды и грибы, собираемые населением на территориях, подверженных техногенному загрязнению, представляют непосредственную опасность для здоровья (Егошина, 2004).

Как указывалось ранее, по степени и скорости поглощения – фитоэкстракции растения делятся на три группы, каждая из которых могут быть использованы в практических целях. Так, растения-исключители можно возделывать при обычных технологиях на техногенно загрязненных почвах; растения-индикаторы – при проведении биомониторинга, а растения-аккумуляторы – для фиторемедиации почв. Растения с повышенной скоростью поглощения ТМ из окружающей среды называются гипераккумуляторами. В

настоящее время известно около 450 видов растений-гипераккумуляторов (Серегин, 2011).

Ключевая роль в успешном проведении очистки загрязненных ТМ почв методом фитоэкстракции заключается в правильном подборе высокопродуктивных растений с высокой скоростью выноса элементов-загрязнителей из почвы, характерных для данных почвенно-климатических условий (Андреева, 2010). С этой целью рекомендуются такие культуры, как козлятник (*Galega*) и борщевик (*Heracléum*) (Дричко, 2006), топинамбур (*Helianthus tuberosus*) и горец сахалинский (*Fallópiasa chalinénsis*) (Цугкиев, 2004), растения семейства бобовых (*Fabaceae*) (Зудилин, 2006), рапс яровой (*Brassica napus*) (Сискевич, 2008), горчица сарептская (*Brássica júncea*) (Трофимова, 2009), сорго зерновое (*Sorghum bicolor*) (Плешакова, 2010), гречиха (*Fagópyru mesculentum*) (Басоев, 2010), горчица белая (*Sinapis alba*) и сафлор (*Carthamus*) (Постников, 2009), овес (*Avéna satíva*) (Доржонова, 2013), вейник наземный (*Calamagróstis epigéios*) (Маджугина, 2008), лопух большой (*Arctium láppa*), одуванчик лекарственный (*Taráxacum officinále*), полынь белая (*Artemísia alba*) (Васильева, 2011), клевер луговой (*Trifolium pretense*), полынь горькая (*Artemisia absinthium*), ежа сборная (*Dáctylis glomeráta*) (Кудряшова, 2003), береза повислая (*Betula pendula*) (Гордеева, 2010), акация белая (*Robinia pseudoacacia*) (Байсеитова, 2014), кедр (*Cedrus*), тальник (Кирилюк, 2004), мятлик полевой (*Poa pratensis*), райграс пастбищный (*Lolium perenne*), полевица тонкая (*Agróstis capilláris*), овсяница луговая (*Festuca pratensis*) (Средин, 2011).

Таблица 10 – Содержание ТМ в растениях-гипераккумуляторах, произрастающих на загрязненных почвах

Металл	Вид	Концентрация металла в побеге, мг/кг сухой массы
Cd	Ярутка сизоватая (<i>Thlaspica erulescens</i>)	1800
Cu	Ипомея альпийская (<i>Ipomea alpine</i>)	12300
Co	Базилик Роберта (<i>Haumania strumrobertii</i>)	10200
Fe	Ярутка круглолистная (<i>Thlaspirotun difolium</i>)	8200
Mn	Макадамия (<i>Macadamia neurophylla</i>)	51800
Ni	Психотрия Дуареи (<i>Psychotria douarrei</i>)	47500
Zn	Ярутка сизоватая (<i>Thlaspica erulescens</i>)	51600

Термин «гипераккумулятор» относится к растениям, накапливающим металлы до концентраций, которые на 1-3 порядка превышают концентрации металлов в тканях рядом растущих «нормальных» растений (Титов, 2007).

Минимальные концентрации для ряда ТМ, позволяющие относить растения к гипераккумуляторам, представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Минимальные концентрации ТМ в надземных органах растений, позволяющие относить их к гипераккумуляторам

Накапливаемый металл	Содержание металла, мкг/г сухой массы
Cd, As	100
Co, Cu, Cr, Ni, Fe	1000
Mn, Zn	10000

Уровни накопления токсиканта в тканях растений могут быть значительно выше, чем его содержание в почве. Однако, число растений-сверхнакопителей ограничено, поэтому поиск видов растений, накапливающих избыток ТМ, привлекает внимание наших исследователей.

Сверхнакопление свинца и кадмия – еще более редкое явление среди высших растений. Среди растений-сверхнакопителей выявлены представители семейства капустных (*Brassicaceae*), которые накапливают свинец. Причем некоторые растения, в частности горчица сарептская (*Brássica júncea*), способны аккумулировать не один, а несколько ТМ – Cd, Cu, Ni, Zn, Pb, Se, что имеет важное значение, поскольку загрязнение почв редко ограничивается одним металлом.

Растения, рекомендуемые для целей фиторемедиации должны обладать следующими свойствами:

1. Способностью аккумулировать металл(ы) преимущественно в надземных органах;
2. Устойчивостью к накапливаемому металлу;
3. Быстрыми темпами роста и большой биомассой;
4. Высокой способностью отрастания после скашивания.

Таблица 12 – Некоторые виды растений, способные к гипераккумуляции ТМ (Титов, 2007)

Семейство	Род.вид	Накапливаемый металл
Капустные	Бурачок (<i>Alyssum</i>)(около 50 видов)	Ni
Капустные	Арадонсис Геллера (<i>Arabidopsis halleri</i>)	Cd, Zn
Свинчатковые	Армерия маранная (<i>Armeria maritime</i>)	Pb, Zn
Свинчатковые	Армерия (<i>Armeria plantarina</i>)	Zn
Капустные	Горчица сарептская (<i>Brassica juncea</i>)	Cd, Cu, Ni, Pb, Se, Zn
Астровые	Подсолнечник однолетний (<i>Helianthus annuus</i>)	Pb
Молочайные	<i>Leucoscroton</i> (около 30 видов)	Ni
Гвоздичные	Минуартия весенняя (<i>Minuartia verna</i>)	Ni, Zn
Капустные	<i>Thlaspi</i> (более 20 видов)	Ni
Капустные	Ярутка альпийская (<i>Thlaspi alpestre</i>)	Zn
Капустные	Ярутка сизоватая (<i>Thlaspi caerulescens</i>)	Cd, Pb, Zn
Капустные	Ярутка каламенари (<i>Thlaspi calaminarie</i>)	Zn
Капустные	Ярутка копеафолия (<i>Thlaspi icepeaefolium</i>)	Zn
Капустные	Ярутка козингенса (<i>Thlaspi goesingense</i>)	Cd, Ni
Капустные	Ярутка круглолистная (<i>Thlaspi rotundifolium</i>)	Pb
Толстянковые	Очиток Альфреда (<i>Sedum alfredii</i>)	Cd, Zn
Гвоздичные	Смолевка волдырниковая (<i>Silenecucubalus</i>)	Zn
Молочайные	Филентус (<i>Phyllanthus</i>) (более 40 видов)	Ni
Гвоздичные	Многоплодник голый (<i>Polycarpon glabra</i>)	Pb, Zn
Фиалковые	Фиалка галмейная (<i>Viola calaminaria</i>)	Zn

В настоящее время разработаны две стратегии использования растений для «извлечения» ТМ из почв. Первая из них представляет использование растений-сверхнакопителей. Эти растения могут поглощать один или два металла, их накопление в небольшой биомассе коррелирует с очень высокими концентрациями металла в побегах. Вторая стратегия основана на использовании высокопродуктивных растений, которые не являются металлоспецифичными, формируют большую надземную биомассу, но количество ТМ в ней сравнительно не высокое.

Способность растений очищать почвы от ТМ ограничена многими факторами. Среди них можно назвать доступность металла в почве для поглощения корнями растений, скорость поглощения его корнями, транспорт металла из корня в побег, а также устойчивость растений.

1.5 Экологическая эффективность фиторемедиации почв

Впервые термин «фиторемедиация» – от греческого «фитон» (растение) и латинского «ремедиум» (восстанавливать) использовали американские ученые В. Душенков и И. Раскин из Ратгерского университета, штат Нью-Джерси. В статье «Фиторемедиация: зеленая революция в экологии», опубликованной в журнале «Агро XXI», №9, 2000 г, они отмечали, что некоторые зеленые растения способны извлекать из почвы вредные для здоровья токсичные элементы: мышьяк, кадмий, медь, ртуть, селен, свинец, а также радиоактивные изотопы стронция, цезия, урана и другие радиоактивные нуклиды (РН). Растительную массу не составляет особого труда собрать и сжечь, а образовавшийся пепел или захоронить или использовать как вторичное сырье.

Фиторемедиация признана эффективным и экономически выгодным приемом особенно после того, как обнаружили растения-гипераккумуляторы ТМ, способные накапливать в своих листьях до 5% никеля, цинка, меди в перерасчете на сухую массу – в десятки раз больше, чем обычные растения.

В настоящее время в индустриально развитых странах прием фиторемедиации почв, загрязненных неорганическими и органическими контаминантами, в основе которых лежит способность специально подобранных видов высших растений поглощать и аккумулировать в своей биомассе ТМ в количестве, значительно превышающем их содержание в среде произрастания, широко используется (Байбеков, 2010; Добровольский, 1997; Mathis, 1999; Raskin, 1994; Cunningham, 1996; Moffat, 1995; Chaney, 1995).

Таким образом, фиторемедиация представляет собой выращивание в течение определенного периода времени на участке специально подобранных видов растений-гипераккумуляторов для извлечения ТМ корневой системой и концентрирования их в надземной биомассе (Dushenkov, 1997).

Принципиальная схема ремедиации территорий выглядит следующим образом:

- посев семян фиторемедиантов в начале вегетации (весной);
- скашивание растений в конце вегетации (в начале осени);
- утилизация насыщенной ТМ фитомассы (Янников, 2009).

Одной из главных задач при разработке фиторемедиационных технологий является поиск местных видов растений, способных произрастать на загрязненных почвах и аккумулировать значительные количества поллютантов (Рябина, 2003).

Большинство дикорастущих гипераккумуляторов относится к семейству капустных (*Brassicaceae*). Они близкие родственники капусты (*Brassica*) и горчицы (*Sinapis*). Один из видов горчицы, называемый индийской, или сарептской (*Brassica juncea*), оказался весьма эффективным накопителем свинца, меди, никеля.

Современные технологии фиторемедиации основываются на различных методологических подходах. В зависимости от токсиканта, его концентрации, почвы, объекта, нуждающегося в ремедиации (конкретный участок, планируемый под строительство, сельскохозяйственное использование, заводские городки, военные полигоны и др.) определяют форму и фиторемедиационную технологию (Прасад, 2003; Чиркова, 2002; Квеситадзе, 2005).

Современные технологии фиторемедиации подразделяются следующим образом:

1. Фитоэкстракция;
2. Ризофильтрация;
3. Ризодеградация;
4. Фитодеградация;
5. Фитоволотализация;
6. Гидравлический контроль;
7. Фитостабилизация.

Прежде чем использовать ту или иную технологию, следует провести тщательный анализ объекта, подлежащего ремедиации, установить тип токсического соединения, его концентрацию, глубину проникновения

токсикантов почву, тип почвы, количество осадков, глубину залегания грунтовых вод и т.д. После этого выбирается метод фиторемедиации, включая выбор растения и микроорганизмов, требуемых для каждой конкретной технологии.

Фитоэкстракция. Эта фиторемедиационная технология обычно используется для очистки почв и водоемов, зараженных ТМ и РН. Технологические особенности фитоэкстракции заключаются в следующем: корневой системой растений, вместе с питательными веществами поглощаются как неорганические, так и органические токсиканты и осуществляется их последующая транслокация в надземные органы растений. По завершению фазы роста и транслокационных процессов наземные органы растений удаляются и подлежат соответствующей переработке. Биомасса растений после ее сжигания может быть использована как источник для выделения и восстановления ТМ.

Например, для концентрирования свинца использовали сжигание растительной биомассы с углем или компостирование. Часть удобрений биомассы сжигали с углем в топке тепловой электростанции, другую часть компостировали в контейнерах, а третью дистрагировали раствором хелатирующего агента.

В итоге, сжигание с углем привело к накоплению свинца в виде мелких частичек золы, что уменьшило степень загрязнения растительного материала на 90%, компостирование – на 26%, а две последовательных экстракции удаляли 98% свинца (Прасад, 2003).

Эффективность фитоэкстракции можно проследить на таком примере: в полевых условиях с 1 га растения могут удалить в год в зависимости от вида гипераккумулятора от 180 до 500 кг ртути. Если на загрязненной почве концентрация ртути составляет 2500 мг/кг почвы, то с использованием фитоэкстракции полная ремедиация почвы может быть достигнута за 10 лет. Естественно, биомасса растений, содержащая повышенную концентрацию ртути, должна быть переработана. Если выделение металлов из золы обходится дороже их себестоимости, то в таком случае биомассу растений сжигают или в зависимости от содержания токсиканта используют для компоста.

Эффективность растений, используемых в фитоэкстракции, как указывалось, определяется так называемым коэффициентом фитоэкстракции (биологического накопления), который представляет собой отношение концентрации металла в растении к концентрации металлов в почве. По этому коэффициенту, показывающему способность накапливать металлы в биомассе, отбираются растения-гипераккумуляторы. К растениям-гипераккумуляторам ТМ в настоящее время отнесены: горчица сарептская (*Brássica júncea*), люцерна (*Medicago sativa*), подсолнечник (*Helianthus annus*), сорго (*Sorghum*), ряд травянистых растений и некоторые зерновые культуры.

Фитоэкстракцию делят на два разных метода: индуцированную и непрерывную. Первый метод предполагает применение специфических хелатирующих агентов, образующих растворимые комплексы с ТМ. При этом металл быстро усваивается и легко транспортируется в надземные органы растений. Непрерывная фитоэкстракция более долгосрочна и в ее основе лежит применение растений-гипераккумуляторов.

Следует отметить, что индуцированная фитоэкстракция является более развитым технологическим приемом. В свою очередь непрерывная фитоэкстракция успешно используется в случаях загрязнения почвы такими металлами, как ртуть, цинк, мышьяк, кадмий, никель, хром. Такие культуры как подсолнечник (*Helianthus annus*) и кукуруза (*Zéa máys*), могут быть использованы для удаления из почвы ртути. Установлено, что растения, характеризующиеся гипераккумулятивными способностями в отношении токсичных металлов, наделены специфическими механизмами, позволяющими им внутри клетки в больших количествах накапливать эти металлы. Такими механизмами являются хелатирование металлов с эндогенными соединениями и компартментализация токсических металлов и их комплексов.

Ризофилтрация представляет собой адсорбцию и последующий транспорт токсикантов корнями растений. Как технология ризофилтрация объединяет биотические и абиотические процессы. При помощи богатых органикой экссудатов корневой системы растений на корнях происходит адсорбция и

иммобилизация органических компонентов почвы, включая токсичные соединения, последующий транспорт которых, в основном, определяется химической природой самих токсикантов. Как правило, экссудаты регулируют кислотность ризосферы, создавая подходящие условия для адсорбции почвенной органики на корневой системе растений.

Способность растений создавать микросреду вокруг корневой системы, которая способствует концентрированию и проникновению компонентов почвы в растительные ткани, - это уникальное свойство, которым растения отличаются от всех остальных организмов.

В технологиях, действующих по принципу ризофильтрации, используют быстрорастущие, интенсивно образующие биомассу и имеющие хорошо развитую корневую систему многолетние растения. В основном это широколиственные, однодольные растения, хорошо растущие в условиях и теплого и холодного климата.

Очевидное преимущество ризофильтрационной технологии заключается в ее дешевизне и возможности использовать обычные растения, не нарушая в процессе обработки почвы ее структуру.

Ризодеградация – технология, созданная самой природой и ею же реализованная с целью полной или частичной деградации токсических соединений в области корневой системы растений до их проникновения в растения. Как известно, корни активно выделяют экссудаты – клеточные соединения, содержащие ферменты, сахара, аминокислоты, органические кислоты, жирные кислоты, стимуляторы роста, нуклеотиды, вторичные метаболиты и т.д. Эти компоненты создают вполне определенное микроокружение в зоне корневой системы и в случае необходимости меняют рН среды, обеспечивая оптимальные условия для размножения ризосферной микрофлоры. Кроме этого, корни подготавливают питательные компоненты и другие субстраты, повышая эффективность их усвоения и, по возможности, при помощи экссудатных ферментов осуществляют деградацию органических

субстратов, находящихся в почве, в более низкомолекулярные и легкоусвояемые растениями соединения.

Ризодеградационные технологии используются в тех случаях, когда токсикантами являются углеводороды, нефтепродукты, толуол, бензол, ксилол, полиароматические соединения, гербициды и др.

Таким образом, совместное действие растений и микроорганизмов, кроме симбиотического эффекта, существенно усиливающего детоксикационный процесс, удачно используются в различных технологических приемах.

К активным ризодеградационным растениям относятся: люцерна (*Medicago sativa*), соя (*Glycine*), бобовые (*Fabaceae*), большинство кустарниковых растений, ель обыкновенная (*Picea abies*) и ряд других однолетних и многолетних растений.

Следует отметить, что эта технология отличается дешевизной, является экологически абсолютно безвредной и может практически применяться во всех климатических зонах.

Фитодеградация называется также фитотрансформацией – это один из основных приемов фиторемедиации. Фитодеградация основана на возможности растений осуществлять ферментативную (чаще всего окислительную) деградацию органических токсикантов путем характерных для растительных клеток метаболических превращений. При этом происходит удаление из почвы и неорганических токсикантов. Фитодеградация, осуществляемая растениями в комбинации с ризосферными организмами часто применяется на практике, составляя основную суть фиторемедиации. Она используется при высших концентрациях токсикантов, но преимущественно в тех случаях, когда почвенные микроорганизмы не в состоянии снизить концентрацию органических токсикантов в почве до требуемого для растений уровня.

Фитодеградация оказалась эффективным приемом при заражении почвы высокими концентрациями алифатических, ароматических и полициклических углеводородов, фенолов, гербицидов и т.д.

Фитоволотализация. Технологическая сущность этого метода заключается в выделении в воздух токсикантов, которые проникают через корневую систему в

надземные органы. Эта технология оказалась пригодной для очистки глинистых почв, водоемов. К числу токсичных соединений, очистка которых достигается при фитоволотализации, относятся хлорорганические соединения, неорганические соединения селена и ртути. При фитоволотализации загрязнители переводятся в менее токсичные формы, например, в элементарную ртуть или газообразный диметилселенит. Попав в атмосферу, загрязнители или их метаболиты могут разрушаться под воздействием света и даже более эффективно, чем в почве. Фитоволотализацию не рекомендуется применять вблизи посевов продовольственных культур, так как токсиканты могут переходить в плоды растений.

К числу растений, используемых для фитоволотализации, следует отнести тополь (*Populus*), люцерну (*Medicago sativa*), акацию (*Robinia pseudoacacia*), травянистые растения.

Фитогидравлика – это технология гидравлического контроля уровня воды и содержания токсикантов в почве с помощью растений. Метод предназначен для очистки грунтовых вод, имеющих жизненно важное значение. Для фитогидравлических технологий используются древесные растения с хорошо развитой корневой системой, которые вместе с водой «вытягивают» из грунта широкий спектр органических и неорганических токсичных соединений: тополь, береза, ива, эвкалипт и другие лиственные растения.

Фитостабилизация. Эта технология основана на способности растений или секретизируемых растениями соединений стабилизировать содержание загрязняющих веществ в почве на низком уровне за счет поглощения или осаждения, что препятствует их мобилизации в форме, угрожающей здоровью людей. Механизмы фитостабилизации включают удержание загрязнителей на поверхности или внутри лигнина, связывание с гумусом почвы и другими органическими соединениями.

Д.Н. Ступин (2009) в учебном пособии «Загрязнение почв и новейшие технологии их восстановления» все технологии фитоочистки называет фитовосстановлением – биологической очисткой почв от загрязнения ионами ТМ,

ядовитыми органическими соединениями, радиоактивными изотопами. Преимущество фитовосстановления перед другими методами восстановления почв состоит в том, что загрязнители удаляются из почвы, не разрушая ее структуру и без снижения почвенного плодородия.

Фитовосстановление почвы – это весьма сложный процесс, который может протекать по различным механизмам, иногда одновременно по нескольким.

Фитостабилизация – механизм выделения растением химических соединений, которые иммобилизуют загрязнения на поверхности раздела корней и почвы.

Фитоаккумуляция – это механизм захвата загрязнения корнями растений и затем его перенос, и накопление (фитоэкстракция) в побегах растения и листьях. Биомассу компостируют для повторного использования металлов или сжигают, а золу отправляют на регулируемую свалку.

Ризофильтрация – этот механизм подобен фитоэкстракции. Однако вначале корневые системы растений развивают в водной среде внутри парника до стадии зрелости, когда корневая система достаточно развита, к растениям подводят загрязненную воду, которая затем постоянно циркулирует через водный источник, питающий эти растения.

Фиторазложение – это метаболизм загрязнений внутри побегов растений. Растения производят ферменты, которые катализируют разложение загрязнений.

Усиленная биодegradация загрязнения в ризосфере протекает в почве, непосредственно прилегающей к корням растений, когда устанавливается симбиотическая связь между корневой системой растения и микроорганизмами, населяющими корневую зону. Вещества, выделяемые корнями растений (сахара, кислоты, спирты), являются элементами питания для микроорганизмов, которые при этом усиливают свою биологическую активность. Корни растений, кроме того, разрыхляют почву, а затем отмирают, оставляя каналы для транспорта воды и аэрации почвы.

В технологиях фитовосстановления чаще всего используют тополь, в первую очередь из-за его быстрого роста, а также из-за способности этих деревьев

выживать в самых разнообразных климатических условиях. Кроме того. Тополь способен вытягивать большое количество воды. Одновременно из загрязненной среды окажутся вытянутыми большее количество растворимых загрязнителей.

Органические насосы – использование растений для контроля миграции загрязнителей в грунтовую воду путем использования их природных гидравлических свойств. Использование деревьев для очистки воды по оценкам стоит приблизительно наполовину меньше очистки в традиционных системах «откачай-обработай»

Фитоиспарение – механизм очищения почвы, в котором определенные растения удаляют загрязнения из верхних слоев почвы и после их транспортировки по своей системе испаряют их с поверхности своих листьев.

В последние годы идет интерес к использованию растений для очистки почв, загрязненных радионуклидами. Эти растения должны обладать высоким коэффициентом бионакопления. Например, при фитовосстановлении почв, загрязненных радиоцезием, используется индийская горчица (*Brássica júncea*), которая способна захватывать ^{137}Cs (изотоп цезия), аккумулировать его в своих побегах, которые затем удаляются при сборе зеленой массы. Зеленая масса подвергается захоронению в качестве радиоактивных отходов.

Глава 2 АБИОТИЧЕСКИЕ И ЭДАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РЕГИОНА

2.1 Абиотические условия

Климат Иркутской области резко континентальный, с суровой, продолжительной, малоснежной зимой и теплым с обильными осадками летом.

Значительная протяженность Иркутской области с севера на юг и с запада на восток, сложность ее рельефа определяют большое разнообразие в распределении климатических элементов. На большей части территории самым холодным месяцем является январь, самый теплый – июль. Разность между средними температурами самого теплого и самого холодного месяцев на большей территории достигает 30-45°C, на севере области превышает 50°C. Наиболее высокие дневные температуры воздуха могут достигать на основной территории области 35-40°C. Наиболее низкие температуры колеблются на основной территории области от -50 на юге области до -61°C на крайнем севере.

Средние месячные температуры поверхности почвы в зимние месяцы колеблются в северных и крайних северных районах области от -17 до -37°C, на остальной территории области – от -11 до -25°C. Наиболее высокие дневные температуры поверхности почвы повсеместно превышают 50°C, достигая в северных районах 60 – 66°C. Вместе с тем. Летом в отдельные дни температура поверхности почвы в ночные часы может понижаться до -1 – 3°C.

По данным многолетних наблюдений, устойчивый переход среднесуточной температуры воздуха через 0°C к отрицательным значениям наблюдается 10-15 октября, в северных районах – во второй пятидневке октября; устойчивое повышение среднесуточной температуры воздуха до положительных значений – 15-20 апреля, на севере – в конце апреля.

За весенний сезон принято считать период от даты устойчивого перехода среднесуточной температуры воздуха через 0°C и повышения ее до $+10^{\circ}\text{C}$. Дата начала весны по годам значительно колеблется. Обычно этот период непродолжительный, ветреный и сухой. Преобладает неустойчивый характер погоды с частым вторжением холодных масс воздуха. В течение всего периода наблюдаются частые, интенсивные заморозки. Среднесуточные амплитуды колебания температуры воздуха достигают $25-30^{\circ}\text{C}$ (рис. 4).

Летним сезоном принято считать период со среднесуточной температурой 10°C и выше. Начало его приходится на конец мая, конец – на первые числа сентября. Дней с температурой $+15^{\circ}\text{C}$ не более 55-70; в северных районах продолжительность летнего сезона 45-50 дней, этот период заканчивается здесь обычно в середине августа (Агроклиматические..., 1977).

Одна из характерных особенностей климата Иркутской области – короткий безморозный период, что объясняется интенсивной потерей тепла вследствие радиационного излучения ночью, вторжением холодных масс воздуха, их застоём и дальнейшим выхолаживанием в пониженных участках рельефа (табл. 13).

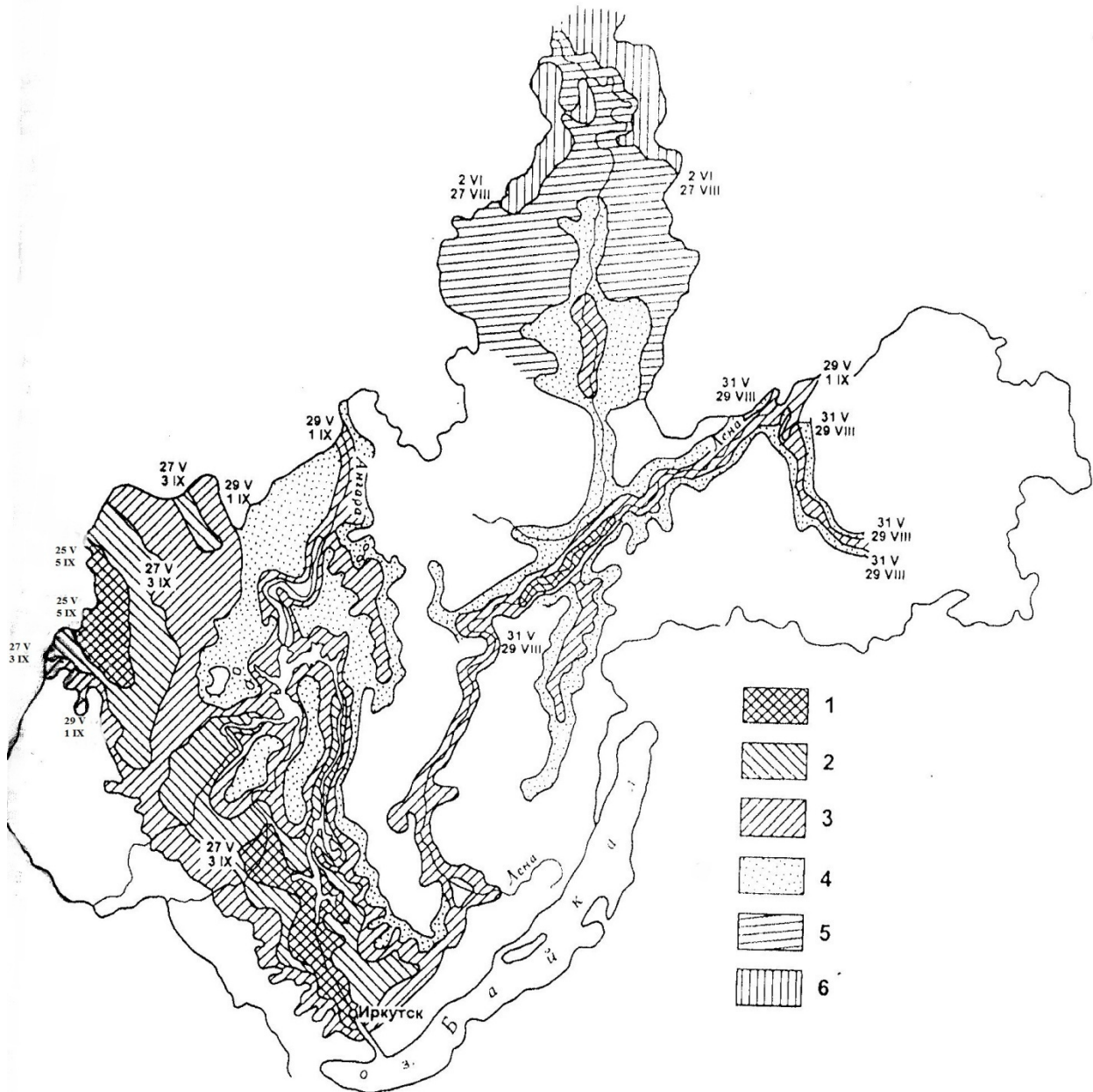
Таблица 13 – Продолжительность безморозного периода, интенсивность и продолжительность заморозков в зависимости от рельефа местности

Показатели	Рельеф местности		
	на горе	на увале	в долине
Продолжительность безморозного периода, дней	111	79	62
Температура 16 мая, $^{\circ}\text{C}$	- 1,4	- 4,3	- 5,8

Поэтому при использовании земельных угодий в размещении сельскохозяйственных культур необходимо учитывать условия рельефа и экспозицию склонов.

Осадки. Режим осадков определяется главным образом атмосферной циркуляцией. В холодный период года над большей частью Восточной Сибири преобладает малооблачная погода с малым количеством осадков, в теплый период выпадает 65 – 85 % годовой суммы осадков. На распределение осадков по территории заметное влияние оказывает рельеф местности. На наветренных

склонах хребтов осадков выпадает в 2 – 3 раза больше, чем на остальной территории области.



Условные обозначения	Сумма температур выше 10°С	Средняя температура июля
1	1600-1700	18,0-18,5
2	1500-1600	17,5-18,0
3	1400-1500	17,0-17,5
4	1300-1400	16,5-17,0
6	1200-1300	16,0-16,5
7	< 1200	16,5

Рисунок 4 – Термические ресурсы (сумма температур выше 10° С $\sum t > 10$ и средняя температура июля t_{VII}) и даты переходы температуры воздуха через 10° С весной (числитель) и осенью (знаменатель)

Наименьшая (менее 200 мм) сумма осадков отмечаются на острове Ольхон и в бассейне реки Куды, наименьшее (более 1000 мм) – на наветренных склонах горных хребтов. На большей части равнинной территории выпадает 350 – 500 мм осадков. В предгорьях Восточного Саяна 450 – 500, увеличиваясь на наветренных склонах до 800 мм. Число дней с осадками 0,1 мм и более уменьшается от 170 – 190 в северных до 120-130 дней в южных районах области и до 100 и менее дней на западном побережье Байкала. Число дней с осадками 5 мм и более резко уменьшается, составляя на основной территории области 15 – 25 дней, по побережью Байкала 11 – 35, в горах Хамар-Добана до 60 дней в год.

В годовом ходе максимум осадков приходится на июль – август и составляет 50 – 90 мм, увеличиваясь на Хамар-Добане до 150 – 200 мм. В месяце минимума (февраль – март) суммы осадков, как правило, не превышают 5 – 10 мм, увеличиваясь в горах Восточного Саяна до 20 – 50 мм.

Количество осадков по годам значительно колеблется: в Иркутском районе – от 601 до 328 мм, в Качуге – от 422 до 143, в Балаганске – от 428 до 213 мм. Суточный максимум осадков достигает в июле – августе 30 – 60, в отдельные годы – 80 – 120 мм.

Вследствие скудности зимних осадков снежный покров в области незначителен. Максимальной высоты он достигает в марте и в среднем на основной территории не превышает 30 – 50 см, на севере области 50 – 60, в горах 180 – 190 см. Продолжительность залегания снежного покрова в северных районах около 200, в горах – около 230 дней. На высоких горных вершинах лежат вечные снега.

Незначительный снежный покров и низкие зимние температуры способствуют глубокому промерзанию почвы (местами до 2 м под естественной поверхностью и до 3 м под оголенной) (рис. 5).

Сход снежного покрова в первую очередь происходит на открытых и южных склонах. Позже всего от снега освобождаются залесенные участки, распадки и котлованы.

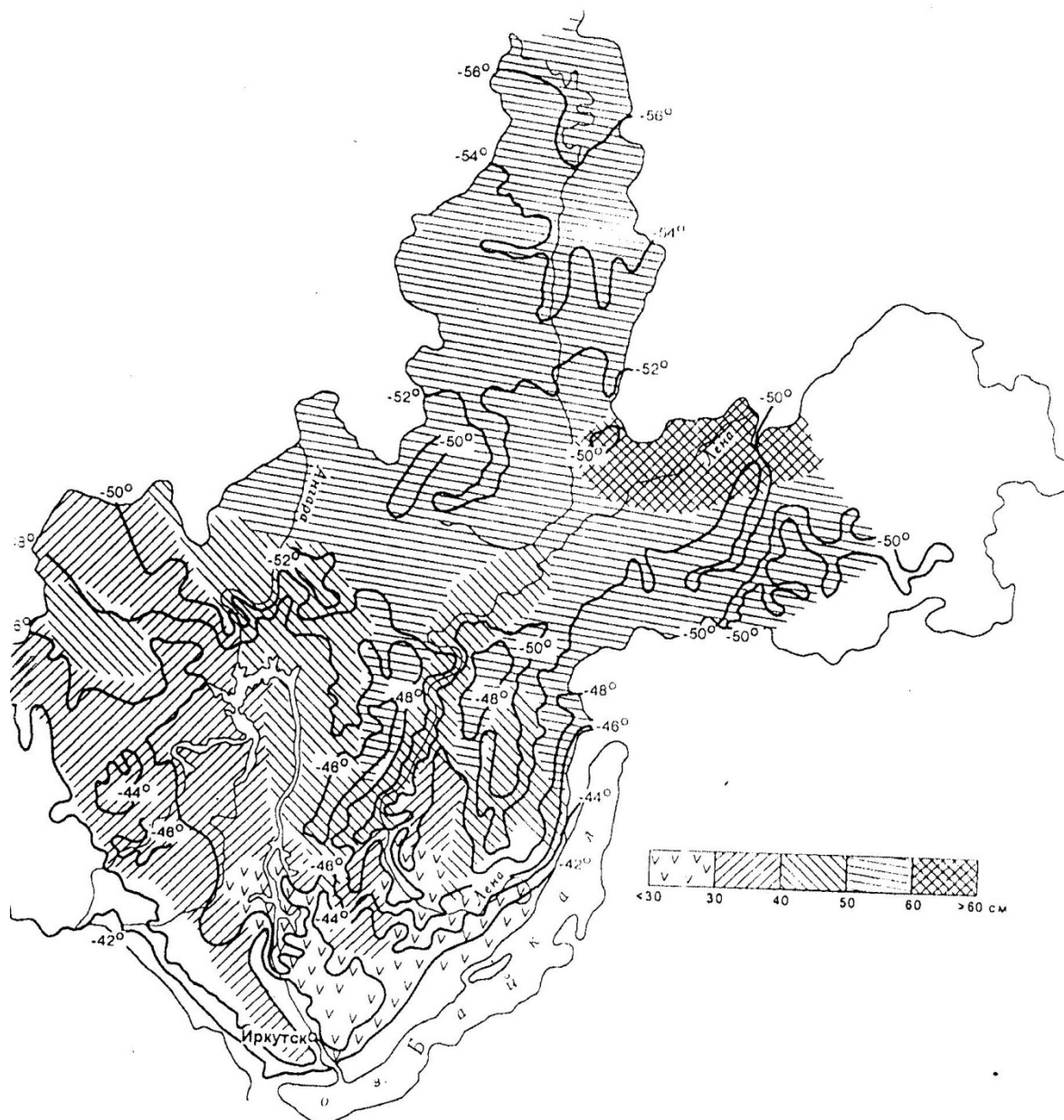


Рисунок 5 – Средний из абсолютных минимумов температуры воздуха (изолинии) и средняя высота снежного покрова за декаду с наибольшей высотой (штриховка)

Горная территория не заштрихована

По средним многолетним данным, на территории основных сельскохозяйственных районов полный сход снежного покрова наблюдается в середине апреля, на сквере области – 25 – 30 апреля.

При антициклонном типе погоды в зимнее время над территорией области отмечается большая повторяемость штилей, способствующих формированию

застойных явлений. Наибольшая их повторяемость отличается в Верхне-Ленских районах (50 – 80 %). Поэтому и средние месячные скорости ветра на основной территории, как правило, не превышают 1 – 3, а на Байкале, в силу местных особенностей, они колеблются от 3 до 6 м/сек.

Оживление циклонической деятельности в теплый период года над территорией Иркутской области и установление антициклонической погоды на Байкале сглаживают различия в средних месячных скоростях ветра. Повсеместно они не превышают 5 м/сек.

Температура почвы. Тепловое состояние почвы определяется разностью между приходом и расходом лучистой энергии солнца, поглощающей и излучающей способностью поверхности почвы, степенью расчлененности рельефа, экспозицией склона, влажностью, растительностью, высотой снежного покрова. Во второй половине сентября наблюдается ночное подмерзание, а в октябре – промерзание почвы. Средняя глубина промерзания почвы – 160 – 200 см. В северных и северо-западных районах, где зима продолжительная и суровая, почва промерзает на глубину 120 – 140 см, что объясняется ранним выпадением снежного покрова, более высоким и равномерным его залеганием.

Оттаивание почвы начинается с момента схода снежного покрова и проникновения тепла в нижележащие слои почвы. В районах, где отсутствует многолетняя мерзлота, оттаивание идет как сверху, так и снизу промерзшего слоя. К концу апреля почва оттаивает на глубину 20 – 30 см. К концу мая почва в основных сельскохозяйственных районах оттаивает на 80 – 100 см, а в июле – на полную глубину. На глубине 10 см температура почвы повышается до 5°С в период с 1 по 15 мая. В это время в области проходит массовый сев ранних яровых культур. С 20 по 30 мая температура почвы на глубине 10 см повышается до 10°С.

Влагообеспеченность сельскохозяйственных культур. Полевые сельскохозяйственные культуры на территории области испытывают острый недостаток влаги. Это обусловлено тем, что большая часть осадков выпадает в теплое время года и обеспечивает хорошую влагозарядку почвы с осени только

после ее обработки. На влагообеспеченность сельскохозяйственных культур положительное влияние оказывает медленное оттаивание почвы весной. Наличие мерзлой прослойки почвы в течение весны и начале лета препятствует проникновению талых вод в нижние горизонты и способствует иссушению корнеобитаемого слоя.

Запасы продуктивной влаги в пахотном слое, особенно в слое 0 – 10 см, за вегетационный период подвергаются значительным колебаниям. На степень увлажненности пахотного горизонта оказывают влияние погодные условия, а также время и качество обработки почвы. Это особенно проявляется на бесструктурных и легких по механическому составу почвах. В годы с обильными осадками во второй половине лета на средних и тяжелых почвах по зяби и на парах в метровом слое почвы осенью содержится 150 – 250 мм продуктивной влаги, на легких почвах – 100 – 170 мм. Если в предшествующий год с июля по октябрь выпало недостаточное количество осадков, то запас продуктивной влаги в метровом слое к началу весеннего сева не превышает 80 – 150 мм, или 40 – 60 % от наименьшей полевой влагоемкости. В такие годы снегозадержание в зимний период и талых вод весной играют существенную роль в пополнении запасов продуктивной влаги в корнеобитаемом слое.

Запасы продуктивной влаги в слое почвы 0 – 20 см менее 5 мм в период от посева до всходов считается неудовлетворительными. Семена в этом случае не прорастают. При наличии влаги от 5 до 10 мм семена прорастают медленно, всходы задерживаются, наблюдается изреженность посевов. И только при запасах влаги в слое 0 – 20 см от 10 до 25 мм условия увлажнения считаются хорошими. При умеренных температурах в этом случае наблюдаются дружные всходы, хорошее укоренение и закладка колоса.

В период от фазы кущения до выхода в трубку условия увлажнения считаются хорошими, если запасы продуктивной влаги в слое 0 – 20 см составляют от 30 до 60 мм. В период колошения запасы продуктивной влаги в метровом слое менее 80 мм считаются неудовлетворительными, от 80 до 150 мм – удовлетворительными, от 150 до 200 мм – хорошими.

Во второй половине лета сельскохозяйственные культуры недостатка во влаге в условиях Иркутской области не испытывают.

2.2 Эдафические условия

Иркутская область является основной частью крупного географического региона – Восточной Сибири. Территория области составляет 77,5 млн. га. Земледельческая освоенность области невысокая, сельскохозяйственные угодья составляют 3,5 % площади.

В связи с разнообразием природных условий почвенный покров области представлен различными типами почв. В сельскохозяйственных районах преобладают следующие типы почв: серые лесные (47,7 %); дерново-карбонатные (35,5 %); черноземы (7,4 %); лугово-черноземные (3,2 %); пойменные (2,4 %); дерново-подзолистые (1,9 %); луговые (1,3 %); прочие – 0,3 % от общей площади (рис. 6).

По природным условиям область делится на три сельскохозяйственные зоны: лесостепную, остепненную, подтаежно-таежную.

Серые лесные почвы формируются под сосновыми, лиственнично-сосновыми и мелколиственными травянистыми лесами на четвертичных осадках, генетически связанных с юрскими песчаниками, солонцами.

По мнению О.В. Макеева (1959) серые лесные почвы образовались из дерново-слабоподзолистых почв под воздействием смены таежной растительности на лесостепную.

По содержанию гумуса в перегнойном горизонте в типе серых лесных почв выделяются три подтипа: светло-серые, они содержат до 3 %, серые – 3-5 %, темно-серые – более 5 % гумуса.

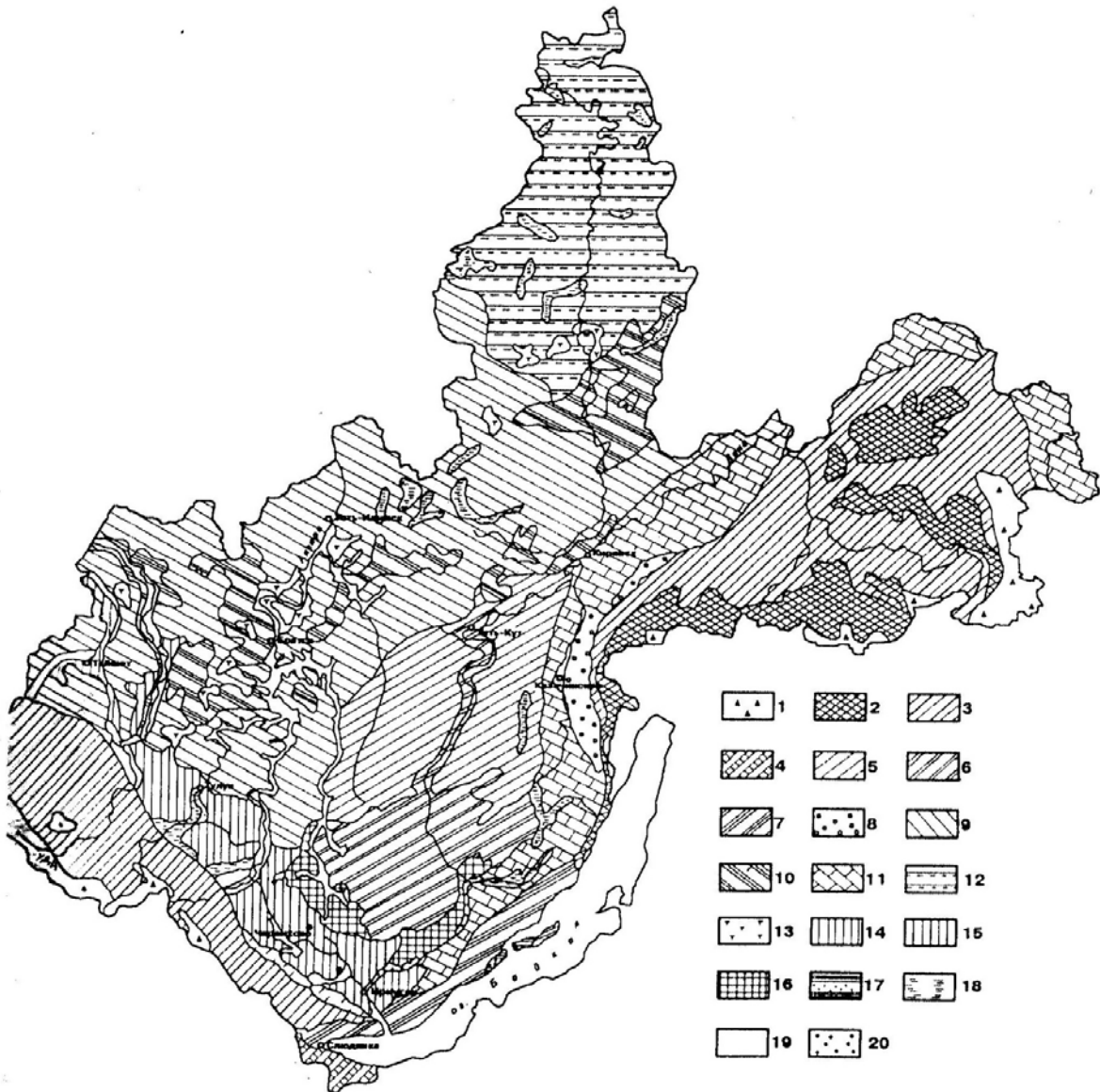


Рисунок 6 – Почвенная карта Иркутской области (Кузьмин, 1979)

Почвы гор и высокого плато: 1 – тундровые с обнажениями горных пород; 2 – подбуры (горно-лесные перегнойные), подзолистые; 3 – подзолистые, подбуры и трфянисто-перегнойные мерзлотные; 4 – буроземы и подзолистые; 5 – подзолистые и дерново-подзолистые на осадочных бескарбонатных породах; 6 – дерново-карбонатные и дерново-подзолистые, подстилаемые преимущественно красноцветными карбонатно-силикатными породами; 7 – дерновые лесные и дерново-подзолистые.

Почвы равнин, предгорий и низкого плато: 8 – дерново-подзолистые и подзолистые суглинистые валунно-галечниковые; 9 – подзолистые, дерново-подзолистые и дерновые лесные суглинистые щебнистые; 10 – дерново-карбонатные и дерново-подзолистые, подстилаемые преимущественно красноцветными карбонатно-силикатными породами; 11 – дерново-карбонатные и дерново-подзолистые, подстилаемые преимущественно известняками и доломитами; 12 – подбуры, мерзлотно-таежные и подзолистые супесчаные и суглинистые щебнистые; 13 – дерново-лесные железистые суглинистые, щебнистые; 14 – серые лесные и дерново-подзолистые суглинистые; 15 – серые лесные и черноземы выщелоченные глинистые и суглинистые; 16 – черноземы обыкновенные и дерново-карбонатные глинистые и суглинистые; 17 – каштановые супесчаные и суглинистые щебнистые; 18 – болотные; 19 – аллювиальные и луговые песчаные, супесчаные и суглинистые; 20 – засоленные

Наибольшее распространение имеют серые почвы, которые на не распаханых территориях приурочены к верхним и средним частям склонов, сменяясь ниже темно-серыми. Светло-серые приурочены к вершинам увалов и верхней части склонов.

Серые лесные почвы характеризуются средним неустойчивым плодородием. Они имеют слабокислую или близкую к нейтральной реакцию почвенного раствора, содержание поглощенных оснований равно 20-40 мг-экв на 100 г почвы, гидролитическая кислотность 2-4 мг-экв, степень насыщенности основаниями 80-90 %.

Характер агропроизводственных свойств, светло-серых почв позволяет считать их плодородие низким и неустойчивым. Светло-серые почвы содержат гумуса обычно менее 2 %, сумму поглощенных оснований 10-20 мг-экв на 100 г почвы. В связи с этим для них характерна низкая степень насыщенности почв основаниями – 80-85 %.

В серых лесных почвах состав гумуса гумутный в перегнойных горизонтах, где отношение $C_{гк} : C_{фк}$ равно 1,5-2,1 и фульватный в нижней части профиля почвы. Валовое содержание азота в серых лесных почвах составляет 0,22-0,35 %, фосфора 0,17-0,22 и калия 2,1-3,2 %. Содержание подвижного фосфора и калия в пределах средней обеспеченности (фосфора до 15-28 мг на 100 г почвы, калия 10-15 мг на 100 г почвы). Однако встречаются серые лесные почвы малообеспеченные фосфором и калием (Кузнецова, 1966).

Дерново-карбонатные почвы распространены в южной части Лено-Ангарского плато, на Онотской возвышенности, в прибайкальской впадине и в Присяянье (Кузьмин, 1988). Распространение дерново-карбонатных почв на территории области сопряжено с выходами на поверхность карбонатных пород, широко распространенных на юге Восточной Сибири. В связи с эти такие почвы встречаются во всех зонах области. Дерново-карбонатные почвы распространены на водоразделах верхних и нижних частях склонов под сосновыми, лиственничными лесами с травяным покровом. Почвообразующими породами являются элювиальные, делювиальные четвертичные суглинки и глины,

генетически связанные с отложениями верхнего и нижнего кембрия. Почвы характеризуются трехчленным строением (А, В, С) профиля и в зависимости от глубины залегания карбонатов и дифференцированности профиля делятся на типичные, вскипающие в горизонте А с поверхности, выщелоченные, вскипающие глубже гумусового горизонта и оподзоленные, вскипающие от 10 % НСІ в нижней части профиля. По механическому составу большинство дерново-карбонатных почв глинистые и тяжелосуглинистые и обладают высокой влагоемкостью. Содержание гумуса в лесных дерново-карбонатных почвах высокое – 7-10 % (Надеждин, 1961), иногда до 13 %, на глубине 20-30 см снижается до 1-3 %. В пахотном горизонте содержится от 4 до 10 % гумуса и 0,2-0,4 % валового азота. По классификации Иркутского института «Росгипрозем», дерново-карбонатные почвы делятся на малогумусные, содержащие 2-3 % гумуса, среднегумусные – 3-5 и высокогумусные – более 5 % гумуса. Почвы характеризуются высоким содержанием гуминовых кислот. В составе гумуса отношение $C_{гк} : C_{фк} = 1,5-3,2$ (Макеев, 1959).

В пределах подтипов лучшими считаются высокогумусные мощные виды. Они содержат 5-10 % гумуса, 0,3-0,5 % валового азота, 0,2-0,3 % фосфора, 2,5-3,5 % калия, обменных оснований до 50 мг-экв на 100 г почвы. Малогумусные почвы содержат 2-3 % гумуса, до 20 мг-экв на 100 г почвы обменных оснований. По сравнению с высокогумусными они обладают худшими агрофизическими свойствами: плотным сложением, малой общей порозностью, наличием в профиле почвы щебня и карбонатных пород.

Реакция почвенного раствора дерново-карбонатных почв в большинстве случаев слабощелочная или нейтральная. Только у оподзоленных и глубоко выщелоченных почв рН верхних горизонтов может быть слабокислой (рН 5,5-5,8). Содержание подвижного фосфора в почвах неодинаково. Так дерново-карбонатные типичные почвы, имеющие свободные углесолы в профиле, характеризуется низкой обеспеченностью подвижным фосфором, а дерново-карбонатные выщелоченные средне обеспечены (9,0-22,0 мг-экв на 100 г почвы).

Обеспеченность дерново-карбонатных почв подвижным калием неоднородная (от низких до высоких величин – 10-29 мг-экв на 100 г почвы).

По агропроизводственным свойствам дерново-карбонатные почвы относятся к одним из лучших осваиваемых почв. Этот тип почв, как указывалось, сформировался на элювии и делювии красноцветных пород и отличаются устойчивой структурой и противостоят скорому выпахиванию и истощению, быстро поддаются окультуриванию и после освоения становятся более плодородными. Эффективное плодородие этих почв снижается из-за недостатка влаги в начале вегетации сельскохозяйственных культур.

Черноземные почвы. В целинном состоянии черноземов осталось очень мало, большая их часть распахана.

Чаще всего черноземы приурочены к древним террасам и пологим склонам водоразделов, отдельными небольшими участками они встречаются на более крутых южных склонах. Основными почвообразующими породами черноземов служат лессовидные суглинки и супеси.

Среди подтипов черноземов преобладают выщелоченные, обыкновенные и южные.

Выщелоченные черноземы характеризуются значительной мощностью гумусового горизонта – 40-60 см, окраска его темно-серая, структура комковато-зернистая, в пашне чаще пылевато-комковатая. Выделяется переходный горизонт с затеками и языками. Гумусовый горизонт сменяется неравномерно окрашенным в желтовато-коричневые тона бескарбонатным горизонтом. Глубина залегания карбонатов в среднем 70 см и варьирует в зависимости от механического состава: на более легких почвах вскипание может быть ниже профиля почвы. Для карбонатного горизонта характерны новообразования в виде псевдомицелия (белые прожилки углесолей). Карбонатный горизонт постепенно переходит в более рыхлую материнскую породу (Надеждин, 1961).

Содержание гумуса в выщелоченном черноземе высокое – 7-12 %, особенно в верхнем слое гумусового горизонта. В легких по механическому составу почвах содержание гумуса достигает 5 %. В составе гумуса преобладают гуминовые

кислоты. На средних и тяжелосуглинистых почвах сумма обменных оснований достигает 60 мг-экв на 100 г почвы, на легких – 30-40 мг-экв. Реакция почвенного раствора близка к нейтральной, с глубиной она возрастает до слабощелочной.

Обыкновенные черноземы имеют меньшую мощность гумусового горизонта и более низкое содержание гумуса – 6-8 %. Отчетливо выделяется карбонатный горизонт.

В.А. Кузьмин (1988) отмечает еще одну особенность почвообразования в Прибайкалье. По его мнению, криогенные процессы, имеющие место в прошлом, приводят к формированию бугристо-западинного микрорельефа. При обработке почвы происходит механическое выравнивание бугров. Поверхность почвы приобретает пеструю окраску за счет чередования светлых и темных участков, хорошо наблюдаемых весной при отсутствии растительности. Светлые пятна вскипают с поверхности и рассматриваются почвоведомы как горизонт В – карбонатный.

Автор полагает, что западины формировались за счет вытаивания линз льда и заполнения пустот почвенным материалом, а бугры – остатки древних отложений. Естественная эрозия приблизила к поверхности древние отложения и они стали вовлекаться в пахотный слой. Таким образом, светлые пятна на пашне представляют карбонатные горизонты палеопочв, возраст которых более 25 тыс. лет. Светлые пятна имеют низкое плодородие, обладают щелочной реакцией, бесструктурностью, сухостью.

Дерново-подзолистые почвы занимают наибольшие площади Тайшетского, Жигаловского, Киренского районов подтаежно-таежной зоны, Зиминского, Братского районов лесостепной зоны. Небольшими ареалами эти почвы встречаются во всех зонах области. Как указывалось, эти почвы занимают небольшой удельный вес в пахотных угодьях области, однако в будущем можно ожидать увеличения доли дерново-подзолистых почв за счет освоения лесных массивов.

Дерново-подзолистые почвы развиваются под светло-хвойными, лиственнично-сосновыми, иногда с примесью березы, травяными, мохово-

травяными лесами на различных типах отложений и элювии-делювии пород, среди которых наиболее распространены карбонатные и бескарбонатные красноцветные песчаники, аргиллиты, доломиты, известняки, юрские песчаники, граниты, сланцы, траппы.

Дерново-подзолистые почвы четко дифференцированы на генетические горизонты: под подстилкой залегают дерновый горизонт A_1 , ниже элювиальный A_2 белесый с плитчатой структурой, под горизонтом A_2 расположен горизонт A_2B серовато-коричневого цвета, с плитчато-ореховатой структурой, затем идет горизонт B с ореховатой структурой, который переходит в материнскую породу.

Механический состав почв разнообразен: от тяжелого суглинка до супеси, однако преобладают среднесуглинистые почвы. Содержание гумуса в верхних горизонтах составляет 6-8 %, но резко падает с глубиной, а в распаханых почвах содержание гумуса около 2 %. В дерновом горизонте состав гумуса гуматно-фульватный, то есть гуминовые и фульвокислоты находятся в одинаковом соотношении ($C_{гк}:C_{фк} = 1:1$), в элювиальном и нижних горизонтах состав гумуса фульватный. Мощность гумусового горизонта не превышает 20 см. Дерново-подзолистые почвы имеют кислую реакцию почвенного раствора.

Плодородие этих почв низкое. Для дерново-подзолистых почв характерна маломощность гумусового горизонта, резкое падение содержания гумуса по профилю почвы, низкое содержание обменных оснований, кислая реакция почвенного раствора.

Глава 3 ПРОГРАММА, ОБЪЕКТЫ И МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ

Программой исследований предусматривалось изучение:

1. Степени загрязнения почв ТМ (кадмием, свинцом) и мышьяком;
2. Реакции различных видов сельскохозяйственных растений на загрязнение почв ТМ и мышьяком и накопления их в зеленой массе и плодах. По степени поглощения ТМ классифицировать возделываемые и интродуцируемые в регионе сельскохозяйственные культуры на три группы: исключители, индикаторы и аккумуляторы. Это является предпосылкой выборочного возделывания ценных продовольственных культур (исключители) и растений, используемых для фиторемедиационных целей, детоксикации ТМ и получения экологически безопасной продукции растениеводства и животноводства;
3. Экологической и энергетической эффективности фиторемедиации.

В схему опытов были включены сельскохозяйственные культуры, широко возделываемые в регионе, как в крупных сельскохозяйственных предприятиях, так и на приусадебных и садово-огородных участках:

1. Овощные культуры: капуста (*Brassica oleracea*), столовая свекла (*Beta vulgaris*), морковь (*Daucus carota*), томаты (*Solanum lycopersicum*), огурцы (*Cucumis sativus*), кабачки (*Cucurbita pepo*);
2. Зеленные овощные культуры: лук (*Allium*), чеснок (*Allium*), салат (*Acetaria*), укроп (*Anethum graveolens*), петрушка (*Petroselinum*);
3. Картофель (*Solanum tuberosum*);
4. Плодовые культуры: смородина черная (*Ribes nigrum*), вишня домашняя (*Prunus domestica*);
5. Кормовые культуры: кострец безостый (*Bromopsis inermis*), пырей безкорневищный (*Elymus chrysalon*), люцерна посевная (*Medicago*

sativa), эспарцет песчаный (*Onobrychis orenaria*), овес на зеленый корм (*Avena sativa*);

6. Новые, интродуцируемые в регионе растения: свербига восточная (*Bunias orientalis*), горец забайкальский (*Polygonum divaricatum*).

Полевые исследования проводились в период с 2009 по 2014 годы на землепользовании садово-огородного кооператива (СОК) «Астра», расположенного в черте г. Свирска Черемховского района (рис. 7) и учхоза «Молодежное» Иркутского аграрного университета им. А.А. Ежевского (ИрГАУ), расположенного в 12 км от центра г. Иркутска.

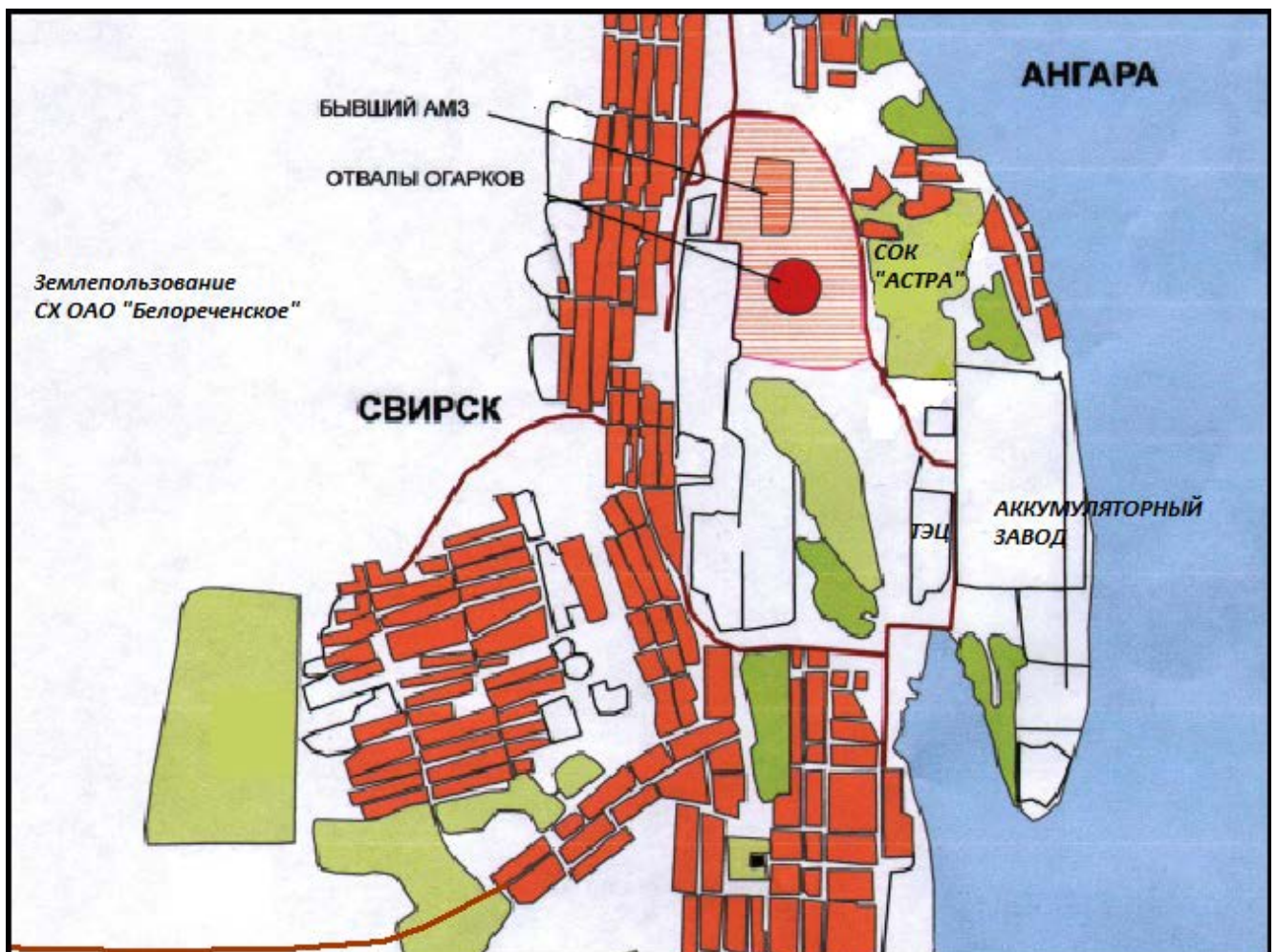


Рисунок 7 – Схема расположения садово-огородного кооператива (СОК) «Астра»

Почва опытного участка СОК г. Свирска черноземная, учхоза «Молодежное» ИрГАУ – серая лесная.

Агрохимическая характеристика почв участков исследования представлена в таблице 14.

Таблица 14 – Агрохимические показатели опытных участков

Место проведения опытов	Тип почвы	Глубина взятия образца, см	Содержание			pH _{сол}
			Гумуса, %	P ₂ O ₅ , мг/кг	K ₂ O, мг/кг	
г. Свирск, СОК «Астра»	чернозем	0-20	7,6	129(М)	535(М)	7,0
		20-40	7,3	113(М)	440(М)	7,0
г. Иркутск, учхоз ИрГАУ	серая лесная	0-20	2,0	260(К)	50(К)	5,7
		20-40	1,8	240(К)	38(К)	5,6

Как подчеркивалось ранее, почвы, расположенные в черте г. Свирска подвержены сильному техногенному загрязнению. Землепользование учхоза «Молодежное» также испытывает загрязнение, но в значительно меньших размерах.

Содержание валовых форм ТМ и мышьяка в почвах опытных участков представлено в таблице 15.

Таблица 15 – Содержание валовых форм ТМ и мышьяка в почве опытных участков (не обрабатываемых)

Место проведения опытов	Тип почвы	Глубина взятия образца, см	Тяжелые металлы, мг/кг		Мышьяк, мг/кг
			Свинец	Кадмий	
г. Свирск	чернозем	0-20	169,7	0,55	432,0
		20-40	20,6	0,37	172,0
г. Иркутск	серая лесная	0-20	11,2	0,31	4,1
		20-40	11,7	0,32	4,9

Отбор почвенных образцов проводился в конце вегетационного периода возделываемых растений (август, начало сентября) в слое почвы 0-20 и 20-40 см. Отбор проводился согласно ГОСТ 17.4.4.02-84. В это же время отбирались растительные образцы и образцы возделываемых растений.

Воздушно-сухие почвенные образцы измельчались, просеивались через сито 1 мм, после чего в них определялись агрохимические и агроэкологические показатели: pH солевой вытяжки – потенциометрическим методом – ГОСТ 26483-85; подвижные формы фосфора и калия по методу Кирсанова – ГОСТ 26207-91 и Мачигина – ГОСТ 20205 -91; гумус по методу Тюрина – ГОСТ 26213-91; валовые формы ТМ атомно-абсорбционным методом – РД 52.18-289-90.

В высушенных и размолотых растительных образцах определялось содержание ТМ: свинца, кадмия – атомно-абсорбционным методом – ГОСТ 30178-96, мышьяка – ГОСТ 26930-86.

Аналитические исследования почвенных и растительных образцов проводились в ФГБУ «Центр агрохимической службы «Иркутский» при участии аналитиков Хороших Е.Н., Веялко Н.В., Осокиной А.Н. и руководителя испытательной лаборатории Истоминой Т.А.

Полученные результаты были статистически обработаны.

Агроклиматические условия в годы проведения исследований были близки к среднегодовым показателям (прил. 1-2).

Глава 4 ОСОБЕННОСТИ ФИТОЭКСТРАКЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ И МЫШЬЯКА РАЗЛИЧНЫМИ ВИДАМИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ И ЕЁ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ В ТЕХНОЛОГИЯХ РЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ

4.1 Оценка опасности загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами и мышьяком и состояние здоровья населения региона

Загрязнение окружающей природной среды (ОПС) тяжелыми металлами – одна из наиболее актуальных проблем современности, приводящее к деградации почвенного и растительного покрова, ухудшению здоровья и продолжительности жизни населения.

Поступление ТМ в организм человека происходит по схеме: почва – растение – сельскохозяйственное животное – человек. ТМ приводят к нарушению иммунной, наследственной и сердечно-сосудистой систем человеческого организма. Токсичность ТМ для живых организмов определяется их свойствами, уровнем концентрации, миграционной способностью и степенью их накопления в органах и тканях.

Нами прослеживалось содержание ТМ 1 и 2 класса опасности в почвах и растениях: кадмия, свинца, мышьяка и меди и никеля (ГОСТ 17.4.02-82).

При количественной оценке содержания ТМ и оценке ситуации исследуемых территорий использовалась система микро- и макропоказателей. Микропоказатели – это значение ПДК вредных веществ в почве и возделываемых растений.

Аналитические данные по содержанию валовых и подвижных форм ТМ и мышьяка в зонах проведения исследований представлены в таблице 16.

Таблица 16 – Содержание тяжелых металлов и мышьяка в образцах почвы, взятых на черноземах СОК «Астра» (целинные и пахотные, интенсивно используемые – огородные, 2009 г – начало исследований)

Место взятия образца	Тип почвы и характер использования	Глубина взятия образца, см	Валовые формы, мг/кг			Подвижные формы, мг/кг	
			Pb	Cd	As	Pb	Cd
СОК «Астра», г. Свирск	Чернозем, целинная	0-20	169,7	0,55	432,0	0,94	0,04
		20-40	20,62	0,37	172,0	1,56	0,10
	Чернозем, пахотная	0-20	70,2	0,38	158,0	0,93	0,08
		20-40	35,8	0,40	136,0	1,56	0,12
ПДК			30,0	2,0	2,0	6,0	1,0

По данным М.М. Овчаренко и др. (1997), валовое содержание ТМ в почвах обусловлено их содержанием в материнской породе и определяется генезисом и процессами почвообразования.

А. Кобата-Пендиас и Х Пендиас (1989) приводит сведения по содержанию ТМ в поверхностном слое различных типов почв в разных регионах мира и указывает, что содержание свинца в почвах России колеблется от 26 до 40 мг/кг, кадмия 0,07 мг/кг. Содержание мышьяка в почвах США и Канады колеблется от 5,1 до 13,6 мг/кг. Однако содержание ТМ в почве резко повышается в условиях техногенного загрязнения.

Содержание подвижных форм ТМ связано с реакцией среды, содержанием в почве органического вещества, биологическим круговоротом элементов в почвенно-грунтовой среде и с неоднородностью видового состава растительного покрова (Виноградов, 1957; Ковда, 1985; Browman, 1985).

Представленные аналитические данные свидетельствуют о том, что поверхностный слой целинной почвы садово-огородного кооператива «Астра», находящегося в черте г. Свирска загрязнен свинцом – 5,6 ПДК и мышьяком – 216 ПДК. Загрязнение кадмием было на уровне 0,28 ПДК.

Однако при интенсивном использовании почв и ежегодном возделывании продовольственных и кормовых культур степень загрязнения постепенно снижается: отмечено снижение содержания валовых форм свинца в 2,4 раза, кадмия в 1,4 раза, мышьяка в 2,7 раза.

Таблица 17 – Содержание тяжелых металлов и мышьяка в образцах, взятых на серых лесных почвах (учхоз «Молодежное» ИрГАУ, 2009 г – начало исследований)

Место взятия образца	Тип почвы и характер использования	Глубина взятия образца, см	Валовые формы, мг/кг			Подвижные формы, мг/кг	
			Pb	Cd	As	Pb	Cd
Учхоз «Молодежное»	Серая лесная, целинная	0-20	11,2	0,31	4,1	0,46	0,03
		20-40	11,7	0,32	4,9	0,47	0,05
	Серая лесная, пахотная	0-20	17,3	0,27	3,9	0,78	0,05
		20-40	12,4	0,28	3,9	0,46	0,03
ПДК			30,0	1,0	2,0	6,0	1,0

Серые лесные почвы учхоза «Молодежное» ИрГАУ, расположенные в 12 км от г. Иркутска (табл. 17) также испытывают техногенное загрязнение, однако интенсивность загрязнения была значительно ниже предельно допустимых норм (ПДН): свинца – 0,37ПДК; кадмия – 0,31ПДК; но мышьяка была выше – 2,7ПДК.

Нами отмечено снижение подвижных форм ТМ при антропогенном загрязнении как на черноземных почвах СОК г. Свирска, так и на серых лесных почвах учхоза «Молодежное» ИрГАУ.

Так, на черноземах СОК «Астра», находящихся в целинном состоянии, при содержании валовых форм свинца 169,7 мг/кг, в подвижном состоянии в верхнем слое почвы находилось лишь 0,94 мг или 0,55 %, а в серых лесных почвах учхоза «Молодежное» - 4,1 %. В пахотных, интенсивно используемых черноземах СОК «Астра» содержание валовых форм свинца было 70,2 мг/кг, а подвижных – 0,93 мг или только 1,32 % от валового содержания. В пахотных серых лесных почвах учхоза «Молодежное» валовые формы свинца составляли 17,3 мг/кг, а подвижные 0,78 мг или 4,5 %.

Содержание подвижных форм свинца увеличивалось как в целинных, так и в пахотных, интенсивно используемых черноземах и серых лесных почвах, причем в серых лесных почвах содержание подвижных форм свинца было выше, чем на черноземных почвах. По нашему мнению, подвижность соединений свинца на серых лесных почвах увеличивалось в связи с кислой реакцией почвенного раствора.

Содержание подвижных форм кадмия в целинных черноземных почвах было 7,2 % от валового его содержания, в пахотных почвах – 21,0 %. В серых

лесных почвах учхоз «Молодежное», находящихся в целинном состоянии, содержание подвижных форм кадмия составило 9,6 % от валового, а пахотных – 18,5 %.

Кроме определения количественных характеристик содержания ТМ в почвах, большое значение имеет знание опасности загрязнения.

Для определения опасности загрязнения почв ТМ и мышьяком были проведены лабораторные исследования по определению их содержания в исследуемых почвах.

Таблица 18 – Содержание тяжелых металлов и мышьяка в образцах почвы, взятых на черноземах (целинные, СОК «Астра») и серых лесных (учхоз «Молодежное» ИрГАУ)

Место взятия образца	Тип почвы	Глубина взятия образца, см	Валовые формы, мг/кг						
			Pb	Cd	Ni	Zn	Cu	Mn	As
СОК «Астра», г. Свирск	Чернозем	0-10	169,7	0,55	31,3	105,6	83,2	167,0	432
Учхоз «Молодежное», ИрГАУ	Серая лесная	0-10	11,2	0,31	25,8	56,6	11,4	502,0	4,1
ПДК			160,0	2,0	80,0	220,0	132,0	1500	10,0

Представленные аналитические данные были использованы для проведения расчетов коэффициентов концентрации элемента (K_c), показывающего отношение его содержания в загрязненной почве к фоновому:

$$K_c = C_z : C_f; \text{ где}$$

K_c – коэффициент концентрации;

C_z – содержание элемента в почве;

C_f – фоновое содержание элемента в почве (табл. 19).

В основу расчетов была положена методика В.П. Герасименко (2009).

Нами были проведены расчеты суммарного показателя опасности загрязнения (Z_c), который определялся по следующей методике:

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K - (n - 1); \text{ где}$$

Z_c – суммарный показатель загрязнения;

n – число суммируемых элементов;

Кс – коэффициент концентрации.

Таблица 19 – Фоновое содержание валовых форм тяжелых металлов и мышьяка (мг/кг) в слое почвы 0-20 см (Герасименко, 2009)

Почвы	Zn	Cd	Pb	Hg	Cu	Co	Ni	As
Дерново-подзолистые песчаные и супесчаные	28,0	0,05	6,0	0,05	8,0	3	6,0	1,5
Дерново-подзолистые глинистые и суглинистые	45,0	0,12	15,0	0,10	15,0	10	30,0	2,2
Серые лесные	60,0	0,20	16,0	0,15	18,0	12	95,0	2,6
Черноземы	68,0	0,24	20,0	0,20	25,0	15	45,0	5,6
Черноземы выщелоченные	28,5	0,09	8,9	-	10,5	-	21,6	-
Лугово-черноземные	35,0	0,17	10,1	-	12,5	-	22,7	-

Расчеты показали, что величина Zc в условиях СОК «Астра» на черноземных почвах колебалась от 32 до 128 единиц. По общепринятой оценочной шкале опасности загрязнения почвы СОК «Астра» г. Свирска отнесены нами к категории высоко опасных. Серые лесные почвы учхоза «Молодежное» ИрГАУ по категории загрязнения отнесены к умеренно опасным. Оценка опасности загрязнения (Zc) составила 16-32 единицы.

Суммарный показатель опасности загрязнений лежит в основе ранжирования почв по категориям загрязнения, показателей здоровья населения в очагах загрязнения, разработки принципиальной схемы оценки почв, мероприятий по детоксикации и их сельскохозяйственного использования.

Таблица 20 – Ориентировочная шкала опасности загрязнения почв (Герасименко, 2009)

Категория загрязнения почв	Величина Zc	Показатели здоровья населения в очагах загрязнения	Коэффициент степени загрязнения почвСз
Допустимая	<2	Низкий уровень заболеваемости детей	0
Низкая	2,1-8	Низкий уровень заболеваемости взрослых	0,3
Средняя	8,1-32	Увеличение общего уровня заболеваемости	0,6
Высокая	32,1-64	Увеличение числа болеющих детей с хроническими заболеваниями, нарушение функционирования сердечно-сосудистой системы	1,5
Очень высокая	>64	Увеличение случаев токсикоза беременности, преждевременных родов, мертворождаемости	2,0

Представленная шкала опасности загрязнения почв может быть использована как предупредительная мера для проведения комплексных

мероприятий по улучшению состояния природной среды и оздоровлению населения региона.

Проведенные расчеты опасности загрязнения (32-128) позволяют отнести землепользование СОК «Астра» г. Свирска к категории очень высоко опасных для человека и сельскохозяйственных животных.

Анализ демографической ситуации г. Свирска свидетельствует о том, что на начало настоящих исследований в городе родилось 178 детей, умерло 408 человек (убыль 230 человек в год). Продолжительность жизни мужчин составляет 53 года, женщин 68,7 лет.

Землепользование учхоза «Молодежное» отнесено к категории среднезагрязненных (опасность загрязнения 16 – 32 единицы), что может привести к увеличению общего уровня заболеваемости населения.

Рекомендуемые мелиоративные мероприятия по детоксикации ТМ и мышьяка и возможное использование загрязненных почв для выращивания различных сельскохозяйственных культур в зависимости от степени и характеристики загрязнения представлены в [приложении 3](#).

При очень высокой степени загрязнения почв СОК «Астра» рекомендуется изъятие земель из сельскохозяйственного оборота и консервация.

4.2 Реакция растений на загрязнение почв тяжелыми металлами и мышьяком

Программой исследований предлагалось изучение особенностей поведения различных видов сельскохозяйственных растений в условиях техногенного загрязнения, их реакции на присутствие в почве различных поллютантов, их потребление и количественное накопление в пищевой хозяйственно полезной части урожая. В экологической науке эти особенности именуется жизненной стратегией растений. По отношению к ксенобиотикам (ксенос – чужой, bios –

жизнь) предполагалось выделить растения индикаторы (лат. *indicator* – указатель), то есть те растения, которые указывают на присутствие в почве ТМ; толеранты (лат. *tolerantia*–терпение, снисходительное отношение), то есть те растения, которые в условиях техногенного загрязнения избегают усвоение из почв нежелательных для растений и растительной продукции элементов; аккумуляторы (лат. *accumulator* – собиратель), которые более интенсивно, чем другие, рядом произрастающие растения, потребляют из загрязненной почвы вредные, нежелательные, ядовитые для человека и сельскохозяйственных животных вещества.

При проведении исследований использовались как аналитические, так и расчетные методы, в частности, осуществлялся расчет коэффициентов биологического накопления (КБН), или коэффициента фитоэкстракции (КФЭ) (лат. *extrahere* – вытягивать, извлекать, удалять); хим. извлечение вещества из смесей, здесь – из почвы.

Расчеты КФЭ легли в основу классификации возделываемых растений на рассматриваемые группы и их использования либо для проведения биологического мониторинга загрязненных территорий в качестве индикаторов; либо их возможного возделывания как толерантов в условиях техногенеза и получения экологически безопасной продукции растениеводства; либо для целей фиторемедиации – технологиях по детоксикации ТМ и восстановления плодородия техногенно загрязненных почв. В связи с этим осуществлялся поиск растений аккумуляторов и гипераккумуляторов, у которых отмечалось более высокое количественное накопление (КН), скорость отчуждения (СО) поллютантов из почвы, КБН был больше единицы. При этом, как показали проведенные исследования, экологическая и экономическая эффективность использования растений – аккумуляторов и гипераккумуляторов в технологиях фиторемедиации была значительно выше, чем в других рекомендуемых технологиях детоксикации ТМ.

Ниже будут представлены результаты четырехлетних (2011-2014 гг.) полевых и лабораторных исследований по изучаемой проблематике.

Почвенная среда – основной источник ТМ для растений. Главный путь поступления ТМ в растение – это абсорбция корнями. Корневая система может поглощать ТМ активно (метаболически) и пассивно (не метаболически). ТМ могут поступать в растения и некорневым путем из воздушных потоков. В большинстве случаев скорость поглощения растениями ТМ положительно коррелирует с их содержанием в почве в доступных формах. На эту закономерность оказывает влияние ряд факторов:

1. Реакция среды;
2. Концентрация кальция, магния и других ионов;
3. Свойства почвенной среды: температура, влажность, аэрация, окислительно-восстановительный потенциал;
4. Вид растения и фазы его развития.

Несмотря на существенную изменчивость в способности различных растений к накоплению ТМ, биоаккумуляция ТМ имеет определенную тенденцию. По степени накопления выделяются несколько групп элементов:

1. Кадмий – поглощается легко;
2. Свинец, мышьяк, цинк – средняя степень поглощения;
3. Марганец, никель – слабо поглощаются;
4. Железо – трудно доступно растениям.

В настоящее время, к сожалению, еще недостаточно экспериментальных данных по накоплению и содержанию ТМ в различных видах растений на техногенно загрязненных почвах в зональном аспекте.

4.3 Особенности потребления и накопления тяжелых металлов и мышьяка различными видами сельскохозяйственных растений

Кадмий. Как указывалось ранее, по степени опасности кадмий отнесен к первому классу канцерогенных веществ. Загрязнение почвы кадмием является одним из наиболее опасных экологических явлений.

Нормальная концентрация кадмия в листьях растений колеблется от 0,05 до 0,2 мг/кг сухой почвы (А. Кобата-Пендиас, 1989; Минеев, 1988).

По данным В.Б. Ильина и др., (1985) содержание кадмия в мг/ кг сухой почвы: в клубнях картофеля было – 0,11, в плодах томата – 0,12, в корнеплодах моркови – 0,16, в пере лука – 0,18 при содержании подвижных форм кадмия на фоновом участке – 0,05 мг/кг, валовых – 1,0 мг/кг.

По данным М.М. Овчаренко и др. (1977), наибольшее содержание кадмия отмечалось в листовых овощах. В условиях незагрязненных почв наибольшая его концентрация характерна для листьев шпината и салата.

Фоновое содержание кадмия в различных растениях составляет следующие величины: в зерне – 0,01-0,07, в моркови (корнеплоды) – 0,05-0,15, в луке – 0,01-0,05, в картофеле (клубни) – 0,001-0,08, в томатах – 0,02-0,11, в яблоках – 0,003-0,03.

Источником загрязнения ОПС кадмием в зонах проведения исследований являются действующие ТЭЦ, расположенные в черте г. Свирска и г. Иркутска. Загрязнение почвенного покрова кадмием составляет от 0,05 до 0,08 мг/кг.

Поэтому все возделываемые продовольственные овощные и плодовые, а также кормовые культуры в районах проведения опытов интенсивно усваивают и накапливают в зеленой массе и плодах большое количество кадмия (табл. 21-24).

Таблица 21 – Содержание кадмия в овощных культурах и картофеле, мг/кг (среднее за 2011 – 2014 гг.)

Район возделывания	Культуры							ПДК	
	картофель		капуста белоко- чанная	свекла	морковь	огурец	томат	для взрослых	для детского питания
	белые клубни	красные клубни							
СОК «Астра» г. Свирск	0,08	0,07	0,10	0,14	0,12	0,09	0,22	0,03	0,01
Учхоз «Молодежное» ИрГАУ	0,10	0,08	0,10	0,11	0,15	0,14	0,18		

Поскольку растения легко извлекают кадмий из почвенных и воздушных источников, то его концентрация в растительной продукции на загрязненных

почвах повышалась. Нами установлено, что на опытных участках имело место повышение концентрации кадмия в зеленой массе и плодах опытных растений.

Таблица 22 – Содержание кадмия в зеленных овощных культурах, мг/кг

Район возделывания	Культуры					ПДК	
	лук	чеснок	укроп	салат	горох	для взрослых	для детского питания
СОК «Астра» г. Свирск	0,11	0,09	0,14	0,16	0,12	0,03	0,01
Учхоз «Молодежное» ИрГАУ	0,12	0,09	0,16	0,13	0,09		

Из овощных культур наибольшее количество кадмия накапливалось в корнеплодах столовой свеклы (4,6 ПДК), моркови (4,0 ПДК), огурцах (3 ПДК), томатах (7,3 ПДК). Высокое содержание кадмия отмечено в зеленой массе зеленных овощных культур: салата и укропа (4,6-5,3 ПДК).

Таблица 23 – Содержание кадмия в плодовых культурах, мг/кг

Район возделывания	Культуры		ПДК	
	смородина	вишня	для взрослых	для детского питания
СОК «Астра» г. Свирск	0,09	0,04	0,02	0,01
Учхоз «Молодежное» ИрГАУ	0,11	0,05		

Таблица 24 – Содержание кадмия в зеленой массе кормовых культур, мг/кг

Район возделывания	Культуры				ПДК	
	люцерна посевная	кострец безостый	пырей ползучий	овес (зел. масса)	для взрослых	для детского питания
СОК «Астра» г. Свирск	0,13	0,18	0,15	0,13	0,03	0,01
Учхоз «Молодежное» ИрГАУ	0,09	0,10	0,09	0,07		

Загрязненными кадмием были плодовые культуры: смородина – 3ПДК и вишня – 2ПДК и все кормовые – 4,3-6,0 ПДК.

Еще более драматичной выглядит качество овощной продукции, так как ПДК кадмия в ней превышены в 7,0-22,0 раза.

Очень сложной и спорной оказалась проблема ранжирования растений по группам интенсивности накопления кадмия. По нашему мнению, к растениям-индикаторам следует отнести томаты, укроп и салат, так как они наиболее интенсивно накапливают кадмий: КБН оказался выше всех других опытных растений – 2,8. Умеренное количество кадмия накапливалось в клубнях картофеля (белоклубневые сорта) и чесноке. По отношению к кадмию их можно отнести к толерантным растениям.

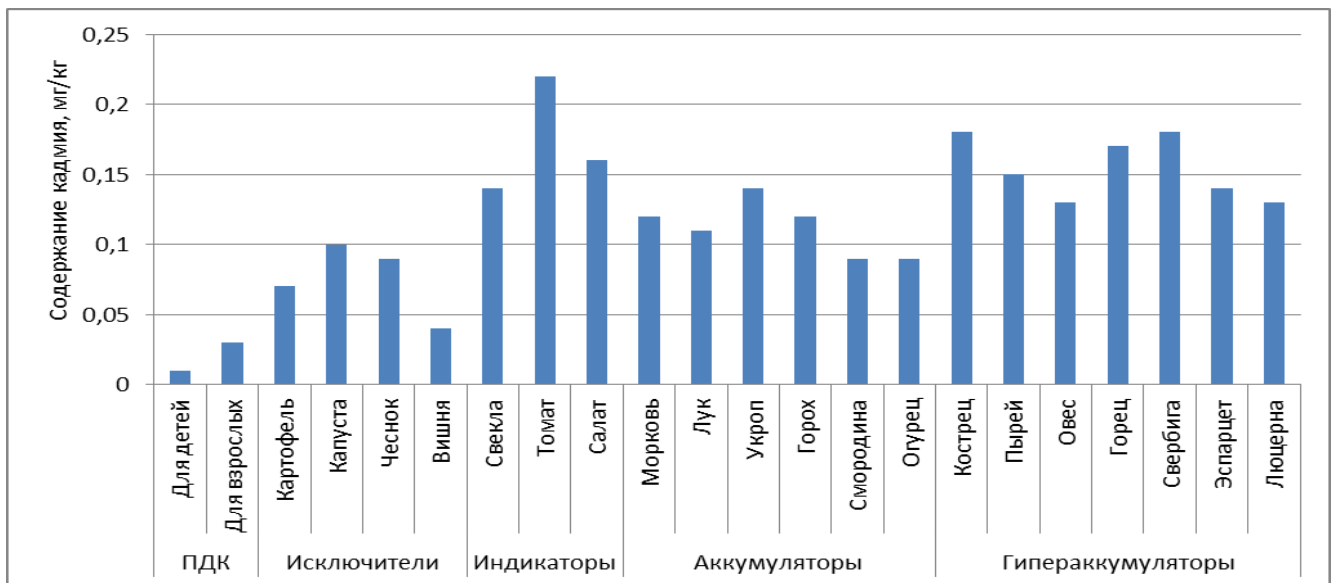


Рисунок 8 – Сравнительная оценка интенсивности фитоэкстракции кадмия разными видами сельскохозяйственных растений в условиях СОК «Астра» г. Свирск

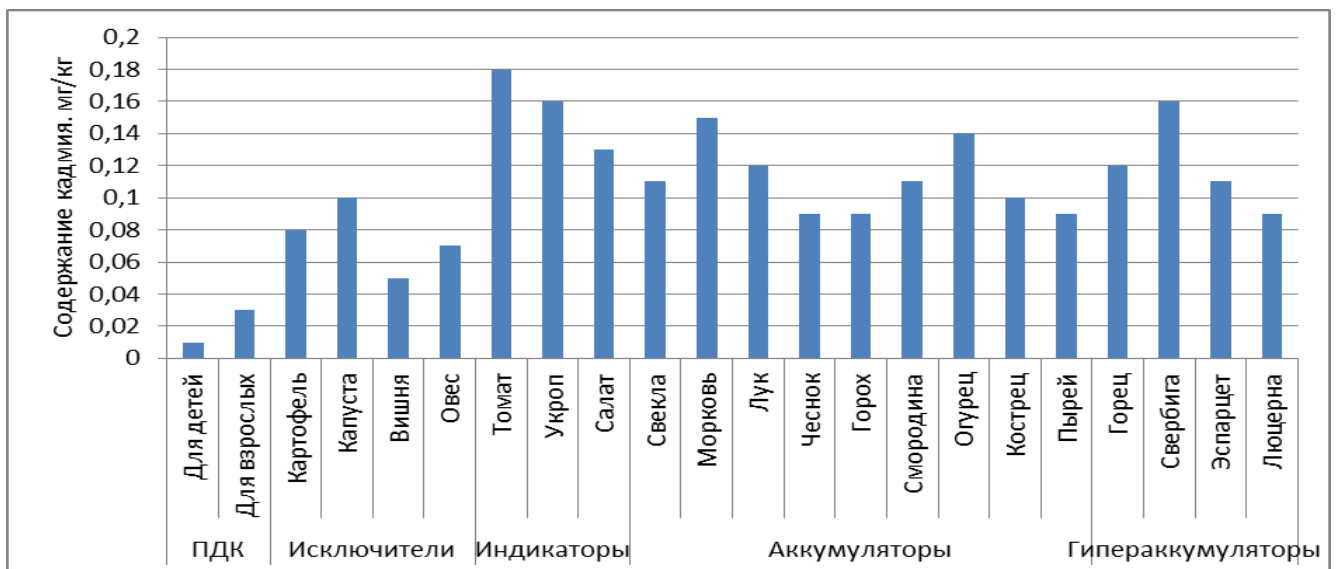


Рисунок 9 – Аккумулятивная «стратегия» опытных растений в условиях загрязнения почвенного покрова кадмием (учхоз «Молодежное» Иркутский ГАУ)

К растениям-исключителям нами отнесены картофель, капуста и вишня.

Наиболее полно требованиям, которые предъявляются к растениям-аккумуляторам, отвечают кормовые растения, и в первую очередь, кострец безостый и пырей – многолетние высокоурожайные растения семейства злаковых (мятликовых); гипераккумуляторам – горец, свербига, эспарцет, люцерна.

Таким образом, в условиях техногенеза содержание кадмия в пищевых и кормовых растениях должно контролироваться особенно тщательно, так как кадмий в продуктах питания человека и кормах животных представляет кумулятивный яд.

С особой тревогой следует отметить, что ни одно из возделываемых на продовольственные цели растений в зонах проведения исследований не соответствует требованиям ГОСТа и не пригодно для питания не только детей, но и взрослого населения.

Свинец. Свинец, как подчеркивалось ранее, относится к наиболее опасным загрязнителям природной среды. Потребление продуктов питания, содержащих свинец, вызывает как острое, так и хроническое отравление. Острое отравление свинцом возникает при попадании его в организм человека с пищей. Оно выражается в наступлении примерно через час сладковатого вкуса во рту, слюнотечении, тошноте, рвоте, судорожных болях в желудке. Симптомы хронического отравления весьма разнообразны. Пульс замедляется до 40-50 ударов в минуту, повышается кровяное давление, наступают головные боли, бессонница, подавленность, мышечные боли. Органами-мишенями при свинцовом отравлении являются кроветворная и нервная система и почки. На уровне кроветворной системы появляется анемия. На уровне нервной системы – поражение головного мозга и периферических нервов.

Токсическая доза свинца для человека – 1 мг, летальная – 10 г (Илларионова, 2010).

Содержание свинца в пищевых продуктах на незагрязненных почвах может колебаться от 0,05 до 3,0 мг/кг сухой массы, в овощных культурах – от 0,8 до 1,8 мг/кг (Ильин, 1985).

Загрязнение ОПС г Свирска свинцом происходит, как указывалось ранее, вследствие работы завода по производству аккумуляторных батарей, а ОПС г. Иркутска – в результате автотранспортных выбросов.

Почвенный покров опытных участков испытывает загрязнение свинцом (0,93; 0,78 мг/кг), а возделываемые растения накапливают его в вегетативной массе и плодах, часто выше критических нормативов.

Результаты исследований показали, что наибольшее количество свинца накапливалось в корнеплодах столовой свеклы, горохе, луке, укропе, салате и огурцах (табл. 25-28).

Таблица 25 – Содержание свинца в овощных культурах и картофеле, мг/кг (среднее за 2011-2014 гг)

Район возделывания	Культуры						ПДК		
	картофель		свекла	капуста	морковь	огурец	томат	для взрослых	для детского питания
	красные клубни	белые клубни							
СОК «Астра» г. Свирск	1,00	0,5	3,06	0,13	0,95	1,07	0,74	0,5	0,1
Учхоз «Молодежное» ИрГАУ	0,75	0,5	0,90	0,13	0,23	0,25	0,58		

Наибольшее накопление свинца (6,1 ПДК) отмечалось в корнеплодах столовой свеклы, возделываемой в СОК «Астра», расположенном в черте г. Свирска. Высокое накопление свинца было и в корнеплодах столовой свеклы, которая возделывалась в учхозе «Молодежное» ИрГАУ – 1,8 ПДК. Высокий коэффициент фитоэкстракции свинца – 3,3 в условиях СОК «Астра» и 0,96 – в условиях учхоза «Молодежное», позволяет отнести эту культуру – к группе аккумуляторов свинца, с одной стороны, а с другой – ее высокая чувствительность к загрязнению свинцом – к группе индикаторов.

Загрязнение огурцов свинцом было на уровне 2,14 ПДК, картофеля – 2,0 ПДК, моркови – 1,9 ПДК, томатов – 1,48 ПДК.

Следует отметить толерантность картофеля (белоклубневые сорта) и особенно белокочанной капусты.

Таблица 26 – Содержание свинца в зеленных овощных культурах, мг/кг

Район возделывания	Культуры					ПДК	
	лук	чеснок	укроп	салат	горох	для взрослых	для детского питания
СОК «Астра» г. Свирск	1,25	0,25	1,00	1,00	1,75	0,5	0,1
Учхоз «Молодежное» ИрГАУ	0,80	0,50	1,07	1,25	1,25		

Проведенные наблюдения показали, что среди зеленных овощных культур высокий коэффициент биологического поглощения свинца (>1) отмечается у гороха, лука, салата, укропа, причем этот показатель для указанных культур был характерным в обеих зонах проведения исследований.

Таблица 27 – Содержание свинца в плодовых растениях, мг/кг

Район возделывания	Культуры		ПДК	
	смородина	вишня	для взрослых	для детского питания
СОК «Астра» г. Свирск	0,75	0,42	0,4	0,1
Учхоз «Молодежное» ИрГАУ	0,68	0,36		

Аномальное накопление свинца отмечалось также в плодовых культурах: смородине и вишне.

Таблица 28 – Содержание свинца в зеленой массе кормовых культур, мг/кг

Район возделывания	Культура				ПДК	
	люцерна посевная	кострец безостый	пырей ползучий	овес (зел. масса)	для взрослых	для детского питания
СОК «Астра» г. Свирск	1,70	1,40	0,58	0,48	0,5	0,1
Учхоз «Молодежное» ИрГАУ	0,80	0,13	0,25	0,10		

Содержание свинца в кормовых растениях, произрастающих на опытном участке в СОК «Астра», было в среднем за годы исследований (мг/кг сухой

массы): в люцерне посевной – 1,7; костреце безостом – 1,4; пырее бескорневищном – 0,58; овсе – 0,48 (табл. 28).

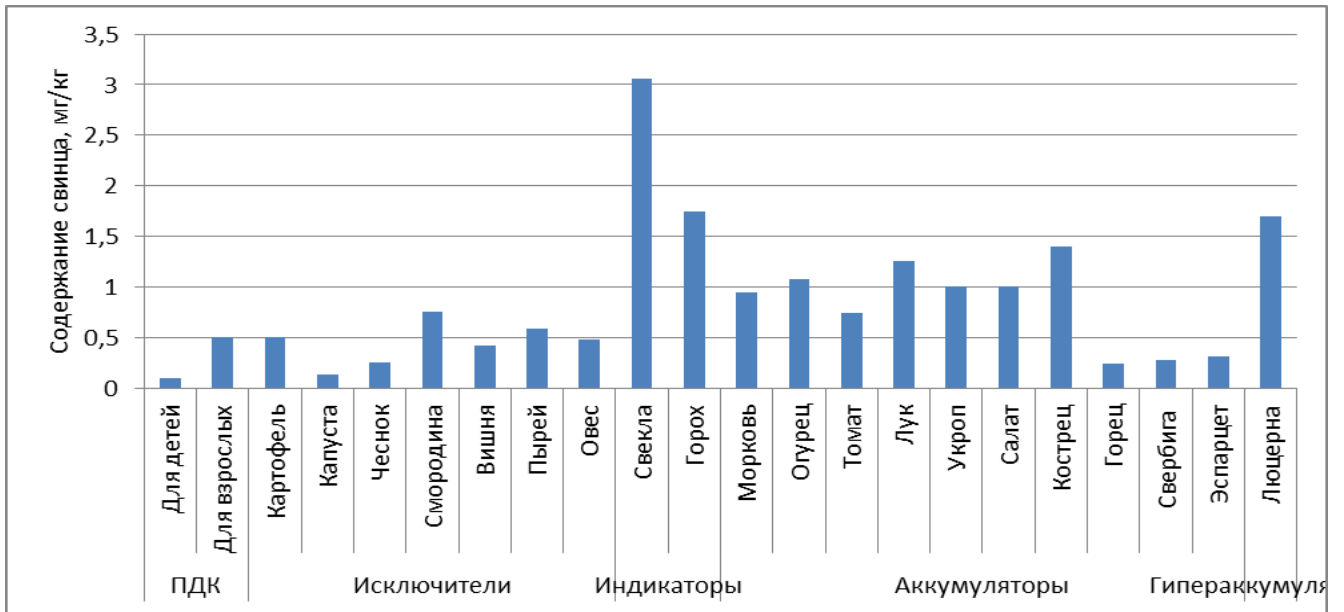


Рисунок 10 – Оценка интенсивности фитоэкстракции свинца различными сельскохозяйственными культурами в условиях СОК «Астра» г. Свирск

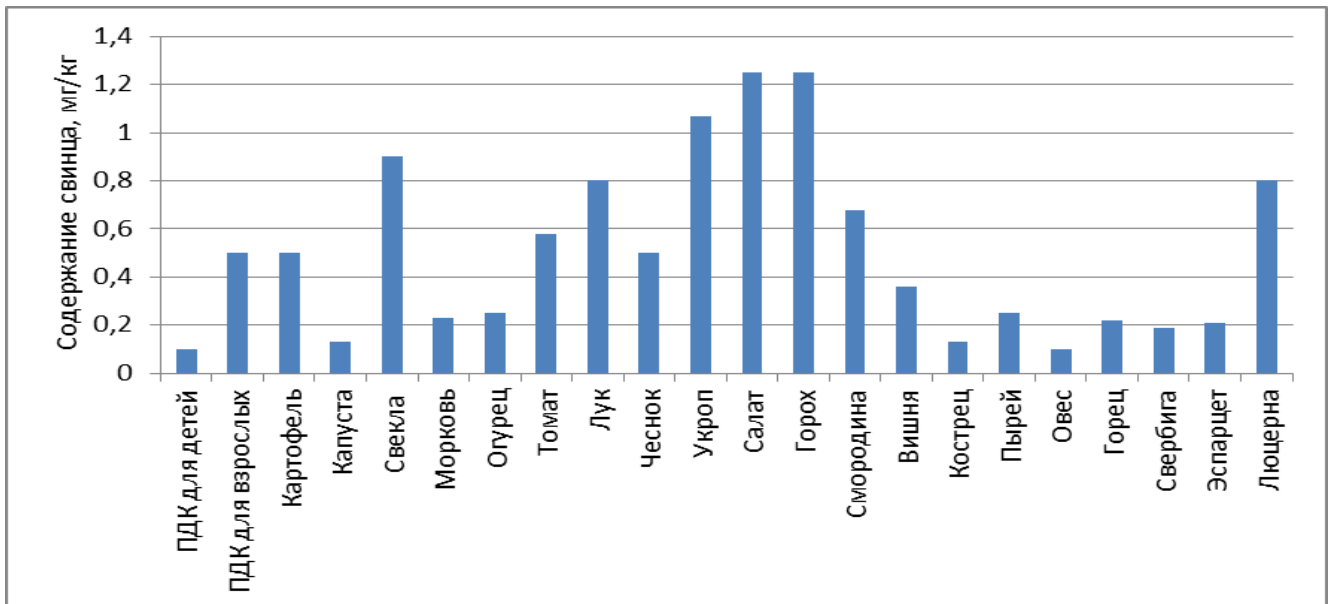


Рисунок 11 – Сравнительная оценка накопления свинца в урожае опытных растений в условиях учхоза «Молодежное» Иркутского ГАУ

Содержание свинца в кормовых травах было значительно выше, чем в овощных культурах, поэтому они были отнесены нами к растениям-аккумуляторам. Люцерна посевная отнесена к растениям-гипераккумуляторам,

так как КБН, отражающий, как указывалось ранее, отношение содержания свинца в растениях к содержанию его в почве, был больше единицы, и равнялся – 1,8. Содержание подвижных форм свинца в почве опытного участка СОК «Астра» было 0,94 мг/кг, а количество свинца, накапливаемого в зеленой массе люцерны посевной – 1,70 мг/кг.

Количество свинца в урожае плодовых культур было также выше ПДК.

Все возделываемые на опытных участках сельскохозяйственные культуры оказались непригодными не только для детского питания, но и для потребления взрослым населением, за исключением картофеля и капусты. В кормлении сельскохозяйственных животных можно использовать кормовые растения, произрастающие только в учхозе «Молодежное».

Мышьяк. Мышьяк, также как и кадмий, и свинец, относится к первому классу опасных загрязнителей ОПС. Мышьяк – высокотоксичный элемент, он может вызывать как острые, так и хронические отравления. Хронические отравления мышьяком проявляются в прогрессирующем похудании, острых болях в конечностях, нарушении памяти, речи, развитии психозов, развитии дерматитов, поражении печени (Каплин, 2007).

Острые отравления приводят к нарушению центральной нервной системы (ЦНС), выражаются в общей слабости, болезненных судорогах различных мышечных групп, потере сознания и параличах жизненно важных центров продолговатого мозга. Смерть может наступить через несколько часов, самое позднее через день без проявления желудочно-кишечных расстройств. ТД мышьяка для человека 5-50 мг, ЛД – 50-340 мг (Илларионова, 2010).

Нормальная концентрация мышьяка в листьях растений 1-1,7 мг/кг сухой массы (А. Кабата-Пендиас, Х Пендиас, 1989), по данным В.Г. Минеева (1988) – 0,1-1 мг/кг.

Изучение проблемы загрязнения ОПС мышьяком особенно актуально для землепользования МО г. Свирск, так как в период с 1934 по 1949 г в центре города функционировал АМЗ по производству боевых отравляющих веществ (БОВ): люизита и адамсита на основе мышьяка. В 1949 г завод был закрыт, а

отходы производства (огарки), брошенные и разрушенные цеха простояли до 2013 г (62 года), загрязняя ОПС. И только в 2013 г за пределы города в место захоронения с территории АМЗ, были вывезены оставшиеся строения, отходы и загрязненная почва (около 200 тыс. м³). Работа была проведена по инициативе ученых Иркутского государственного технического университета (ИрГТУ), за счет финансовых средств, выделенных из федерального бюджета.

Однако, почвенный покров МО г. Свирск испытывает очень большое загрязнение мышьяком. В настоящем и будущем предстоит очень большая и кропотливая работа по детоксикации мышьяка, ремедиации почвенного покрова и реабилитации населения.

Степень потенциального загрязнения почв МО г. Свирск мышьяком составляет: для целинных (неиспользуемых) почв – до 216 ПДК, для интенсивно используемых – до 80 ПДК. По этой причине все возделываемые сельскохозяйственные культуры накапливали мышьяк выше ПДК. Результаты аналитических исследований представлены в таблицах 29-32.

Таблица 29 – Содержание мышьяка в овощных культурах и картофеле, мг/кг (среднее за 2011-2014 гг)

Район возделывания	Культуры							ПДК	
	картофель		свекла	капуста	морковь	огурец	томат	для взрослых	для детского питания
	красные клубни	белые клубни							
СОК «Астра» г. Свирск	1,30	1,27	4,13	0,83	1,94	3,11	1,14	0,2	не допускается
Учхоз «Молодежное» ИрГАУ	0,10	0,14	0,12	0,16	0,27	0,42	0,48		

Нами установлено, что овощи и картофель непригодны для питания не только детям, но и взрослым.

Особенно высокое содержание мышьяка было в столовой свекле, огурцах и картофеле (белоклубневые сорта). Следует отметить, что присутствие мышьяка в продуктах питания, рекомендуемых для детей, не допускается.

Из овощных культур, выращенных в учхозе «Молодежное», непригодными для пищевых целей оказались огурцы, томаты и морковь.

Таблица 30 – Содержание мышьяка в зеленных овощных культурах, мг/кг

Район возделывания	Культуры					ПДК	
	лук	чеснок	укроп	салат	горох	для взрослых	для детского питания
СОК «Астра» г. Свирск	2,72	1,37	0,54	2,20	2,79	0,2	не допускается
Учхоз «Молодежное» ИрГАУ	0,20	0,08	0,45	0,33	0,05		

Среди зеленных овощных растений, выращиваемых в СОК «Астра» наибольшим потреблением и накоплением мышьяка отличались горох, салат, лук, а в учхозе «Молодежное» - укроп и салат.

Таблица 31 – Содержание мышьяка в зеленой массе кормовых культур, мг/кг

Район возделывания	Культура				ПДК	
	люцерна посевная	кострец безостый	пырей ползучий	овес (зел. масса)	для взрослых	для детского питания
СОК «Астра» г. Свирск	1,13	0,43	0,96	0,20	0,2	не допускается
Учхоз «Молодежное» ИрГАУ	0,17	0,04	0,09	0,05		

В зеленой массе кормовых культур, возделываемых в СОК «Астра», содержание мышьяка было выше ПДК, высокая аккумуляция мышьяка свойственна люцерне – коэффициент биологического поглощения (КБП) был равен 1,2. Следует отметить толерантность овса на зеленый корм.

Таблица 32 – Содержание мышьяка в плодовых культурах, мг/кг

Район возделывания	Культуры		ПДК	
	смородина	вишня	для взрослых	для детского питания
СОК «Астра» г. Свирск	0,27	0,65	0,2	не допускается
Учхоз «Молодежное» ИрГАУ	0,12	0,40		

Содержание мышьяка в зеленой массе кормовых растений, возделываемых в учхозе «Молодежное» было меньше предельно допустимых концентраций.

Во всех сельскохозяйственных культурах, возделываемых в СОК «Астра», содержание мышьяка было выше ПДК – они непригодны в питании, как детей, так и взрослых.

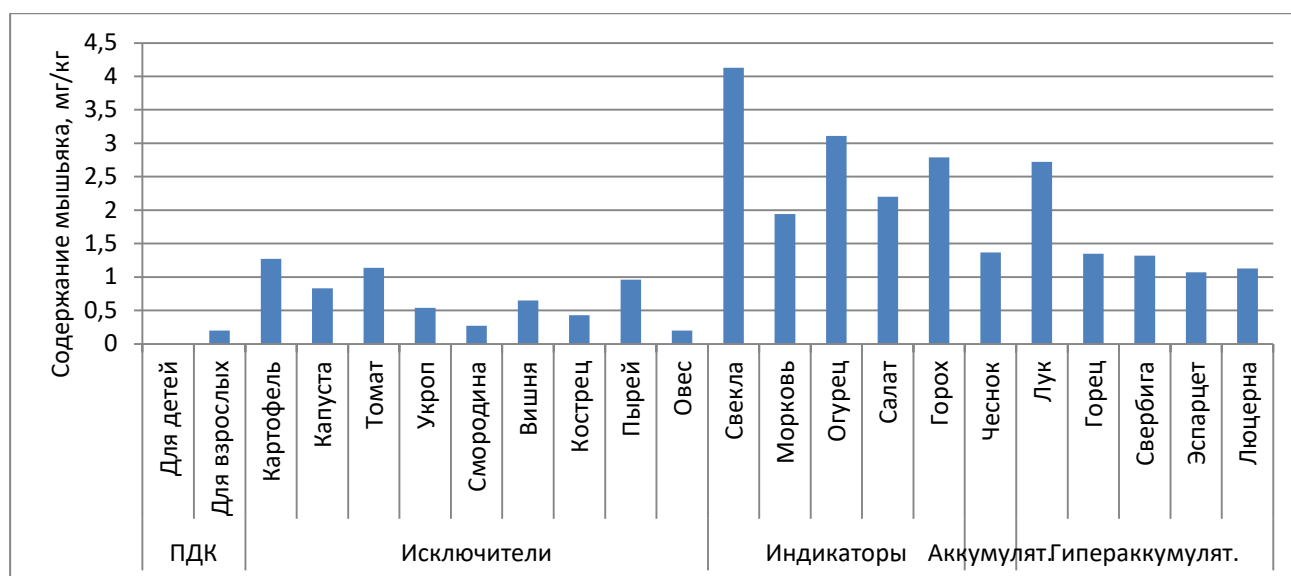


Рисунок 12 – Аккумуляторная «стратегия» сельскохозяйственных культур в условиях техногенного загрязнения почв мышьяком (СОК «Астра» г. Свирск)

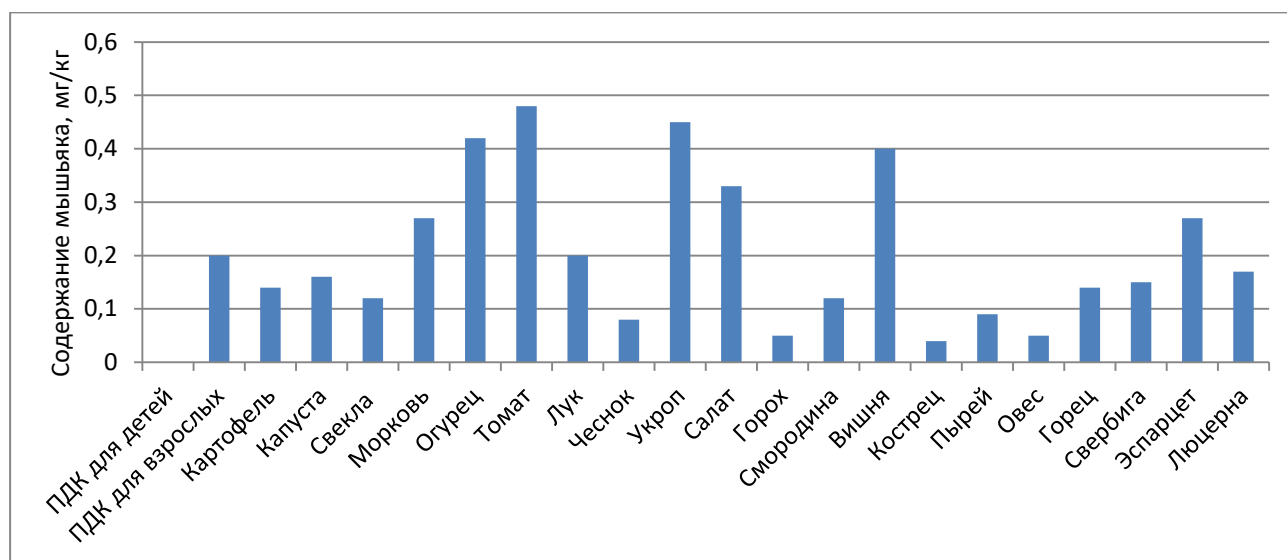


Рисунок 13 – Оценка степени поглощения мышьяка различными сельскохозяйственными растениями в условиях учхоза «Молодежное» Иркутского ГАУ

Оценка степени поглощения мышьяка различными сельскохозяйственными растениями, возделываемых в учхозе «Молодежное» Иркутского ГАУ показала, что в условиях двукратного превышения соединений мышьяка в почве опытного

участка его накопление в продукции было меньше ПДК: в картофеле, капусте, свекле, луке, чесноке, горохе, смородине, зеленой массе люцерны, костреча, пырея, овса, гороха, свербиги.

Однако, согласно требованиям ГОСТа, в продукции, производимой для детского питания, присутствие мышьяка не допускается (Герасименко, 2009). По этой причине, продукция, производимая в учхозе «Молодежное», не пригодна для детского питания.

4.4 Особенности использования фитоэкстракции тяжелых металлов и мышьяка разными видами растений в технологиях ремедиации почв

Как указывалось ранее, одним из способов эффективной очистки почв от ТМ является фиторемедиация – технология очистки ОС с помощью растений и ассоциированных с ними организмов. Фиторемедиация имеет большое как научное, так и производственное значение. Эффективность ее в научном плане связана с поиском и изучением растений, обладающих высоким КН, СО и КФЭ ТМ; в производственном – в разработке технологии, связанной с объемами отчуждаемого из почвенного покрова определенного вида поллютанта, а также ее экономической и энергетической обоснованностью.

Высоким КН и СО ТМ из почвы обладают растения-аккумуляторы, а высоким КФЭ – растения гипераккумуляторы (РГА).

В программу настоящих исследований были включены вопросы поиска новых растений, обладающих высоким КН и КФЭ ТМ.

Результаты исследований представлены в таблице 33.

В результате многолетних исследований и изучения целого ряда растений, эффективными фиторемедиантами в условиях техногенеза были признаны: горец растопыренный и свербига восточная – новые растения, интродуцируемые в

Иркутской области; малораспространенное растение – эспарцет песчаный и традиционно возделываемое – люцерна посевная. Эта группа растений обладает высокими кумулятивными свойствами. По сравнению с капустой белокочанной, взятой нами в качестве контрольного растения, их отличает высокая степень фитоэкстракции поллютантов.

Таблица 33 – Оценка содержания поллютантов в вегетативной массе растений-аккумуляторов и растений-гипераккумуляторов, мг/кг (среднее за 2013-2014 гг)

Вид растения	Место проведения опытов					
	СОК «Астра»			учхоз «Молодежное»		
	Cd	Pb	As	Cd	Pb	As
Горец растопыренный	0,17	0,24	1,35	0,12	0,22	0,14
Свербига восточная	0,18	0,27	1,32	0,16	0,19	0,15
Эспарцет песчаный	0,14	0,31	1,07	0,11	0,21	0,27
Люцерна посевная	0,13	1,70	1,13	0,09	0,13	0,17
Капуста белокочанная	0,10	0,13	0,83	0,10	0,13	0,16
ПДК	0,03	0,5	0,2	0,03	0,5	0,2
ПДК для детского питания	0,01	0,1	не допускается	0,01	0,1	не допускается

Наблюдения показали, что опытные растения в условиях техногенного загрязнения обладали пациентностью (растения - «выносливцы», «верблюды»), то есть они, в сравнении с другими растениями, лучше приспособились и переносили присутствие в почве поллютантов.

Коэффициенты бионакопления ТМ в зеленой массе изучаемых растений приведены в таблице 34.

Коэффициент бионакопления кадмия на черноземных почвах г. Свирска изучаемыми растениями-аккумуляторами был выше, чем у контрольного растения на 28-76 %; свинца – на 23-130%; мышьяка – на 28-62 %. Аналогичные свойства этих растений были выявлены и на серых лесных почвах в пригороде г. Иркутска.

Кроме основополагающих требований, таких как высокое КН, СО и КФЭ растения, отобранные, как эффективные в технологиях фитоэкстракции, обладали комплексом ценных эколого-биологических особенностей: высоким

фотосинтетическим потенциалом, биологической продуктивностью, мощной, хорошо развитой корневой системой, проникающей в глубокие подпахотные горизонты, кроме того они засухо- и морозостойкие. Исследуемые травы, их надземная вегетативная масса и корневая система, представлены на рисунках 14-21.

Таблица 34 – Оценка коэффициентов бионакопления тяжелых металлов в зеленой массе различных растений

Вид растения	Место проведения опытов					
	СОК «Астра»			учхоз «Молодежное»		
	Cd	Pb	As*	Cd	Pb	As*
Горец растопыренный	2,1	0,26	1,35	1,5	0,28	0,14
Свербига восточная	2,2	0,29	1,32	2,0	0,24	0,15
Эспарцет песчаный	1,7	0,33	1,07	1,3	0,26	0,27
Люцерна посевная	1,6	1,82	1,13	1,1	0,16	0,17
Капуста белокочанная	1,25	0,14	0,83	1,25	0,14	0,16

*количественное накопление (КН)

Долголетие и оценка продуктивности изучаемых растений представлены в таблице 35.

Таблица 35 – Долголетие и оценка продуктивности растений-аккумуляторов за 1 год и за годы хозяйственного использования, т/га

Вид опытных растений	Продуктивность, т/га		Долголетие, лет		Совокупная продуктивность за годы хозяйственного использования, т/га	
	г. Свирск	г. Иркутск	г. Свирск	г. Иркутск	г. Свирск	г. Иркутск
Горец растопыренный	5,3	10,5	10	10	53,0	105,0
Свербига восточная	4,5	7,5	10	10	45,0	75,0
Эспарцет песчаный	3,7	6,9	3	3	11,1	20,7
Люцерна посевная	3,2	5,7	5	5	16,0	58,5



Рисунок 14 – Горец растопыренный



Рисунок 15 – Корневая система горца растопыренного



Рисунок 16 – Свербига восточная



Рисунок 17 – Корневая система свербиги восточной

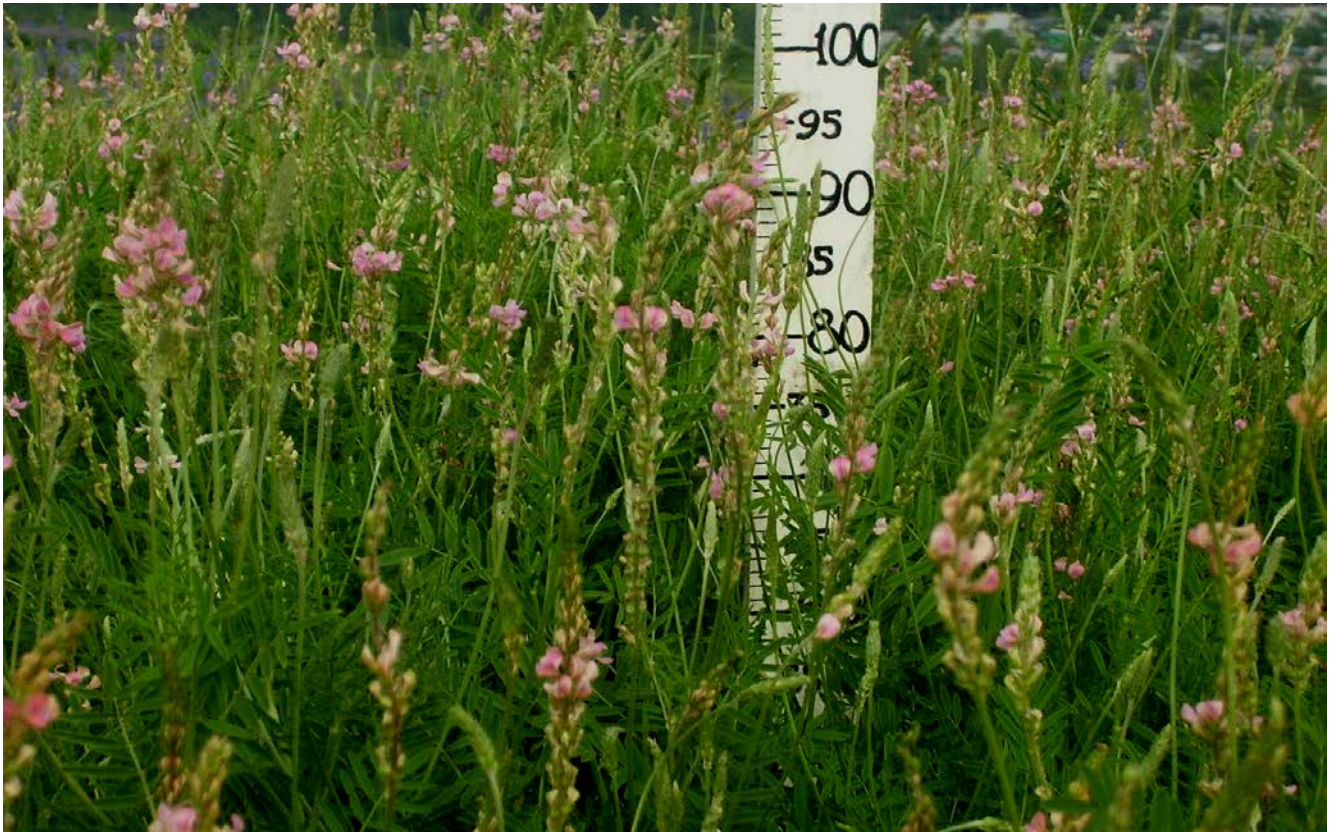


Рисунок 18 – Эспарцет песчаный



Рисунок 19 – Корневая система эспарцета песчаного



Рисунок 20 – Люцерна посевная



Рисунок 21 – Корневая система люцерны посевной

Весьма ценной хозяйственно-биологической особенностью опытных растений является их долголетие. Особенно ценна эта особенность в технологиях фиторемедиации. Долголетие растений в значительной степени сокращает ежегодные технологические затраты, связанные с возделыванием растений. Высшим устойчивым долголетием отличаются, новые интродуцируемые в Иркутской области, горец растопыренный – растение семейства гречишных и свербига восточная – растение семейства капустных. Их долголетие достигает свыше 10 лет. Бобовые растения обеспечивают получение устойчивой продуктивности в течение 5 лет – люцерна посевная и 3 года – эспарцет песчаный.

За годы возделывания опытные растения формируют очень большое количество надземной вегетативной массы: от 11,1 до 53 т/га в условиях г. Свирска и до 20,7-105,0 т/га – в г. Иркутске.

Содержание в почве опытных участков подвижных форм поллютантов, в расчете мг/кг и кг/га, приведено в таблицах 36-37.

Таблица 36 – Содержание в почве опытных участков подвижных форм поллютантов, в расчете в мг/кг и кг/га

Место проведения опытов	Тип почвы и характер использования	Глубина взятия образца, см	Вид поллютанта		
			Cd	Pb	As*
в расчете мг/кг					
СОК «Астра» г. Свирск	чернозем пахотная	0-20	0,08	0,93	158,0
		20-40	0,12	1,56	136,0
в расчете кг/га					
СОК «Астра» г. Свирск	чернозем пахотная	0-20	16	186	316
		20-40	24	312	272

*Валовое содержание

Таблица 37 - Содержание в почве опытных участков подвижных форм поллютантов, в расчете в мг/кг и кг/га

Место проведения опытов	Тип почвы и характер использования	Глубина взятия образца, см	Вид поллютанта		
			Cd	Pb	As*
в расчете мг/кг					
учхоз «Молодежное»	серая лесная пахотная	0-20	0,05	0,78	3,9
		20-40	0,03	0,46	3,9
в расчете кг/га					
учхоз «Молодежное»	серая лесная пахотная	0-20	10,0	156,0	78,0
		20-40	6,0	92,0	78,0

*Валовое содержание

Для разработки баланса изучаемых поллютантов в почве опытных участков нами был проведен расчет их содержания на единицу площади. Эти расчеты особенно ценны для руководителей и специалистов, осуществляющих эколого-агрономический мониторинг и разрабатывающих мероприятия по детоксикации техногенно загрязненных почв и реабилитации страдающего от загрязнения, проживающего на данной территории населения.

Расчеты показали, что почвенный покров пригородной зоны г. Свирска был более «обогащен» кадмием, свинцом и особенно мышьяком, нежели почвенный покров пригородной зоны г. Иркутска.

Величина количественного отчуждения поллютантов из почвы растениями-фиторемедиантами в течение одного года вегетации представлена в таблице 38.

Таблица 38 – Величина количественного отчуждения поллютантов из почвы растениями-фиторемедиантами, в течение одного года вегетации, г/га

Вид опытных растений	Место проведения опытов					
	СОК «Астра»			учхоз «Молодежное»		
	Cd	Pb	As	Cd	Pb	As
Горец растопыренный	0,90	1,27	7,15	1,26	2,31	1,47
Свербига восточная	0,81	1,21	5,94	1,20	1,42	1,12
Эспарцет песчаный	0,52	1,14	3,95	0,76	1,45	1,86
Люцерна посевная	0,41	5,4	3,61	0,51	0,74	0,97

Наблюдения показали, что опытные растения уже в первый и второй год жизни, благодаря присущей им жизненной «стратегии» проделали большую «работу» по детоксикации ТМ и мышьяка. Жизненная «стратегия» (греч. *strategia*, *stratos* - войско + *ago* - веду) – это искусство руководства борьбой или ведения воинских действий, здесь – особенность поведения растений в сложившихся условиях, в частности, техногенного загрязнения. Проведенные исследования показали, что все опытные растения в условиях техногенного загрязнения (особенно мышьякового) значительно снижали свою продуктивность (до 50 %). Продуктивность растений-фиторемедиантов снижалась до 30 %.

Однако, за счет фитоэкстракции содержание кадмия в почве уменьшилось на 0,90 г/га, свинца – на 1,27 г/га, мышьяка – на 7,15 г/га в условиях г. Свирска и уменьшение содержания ТМ и мышьяка в условиях г. Иркутска составило: Cd – 2,31г/га; Pb – 2.31 г/га; As – 1,47 г/га.

Расчетная скорость полного отчуждения поллютантов из загрязненной почвы растениями-фиторемедиантами представлена в таблице 39.

Таблица 39 – Расчетная скорость полного отчуждения поллютантов из загрязненной почвы растениями-фиторемедиантами (в слое 0-20 см), количество лет (прогноз)

Вид опытных растений	Место проведения опытов					
	СОК «Астра»			учхоз «Молодежное»		
	Cd	Pb	As	Cd	Pb	As
Горец растопыренный	18	146	44	8	67	53
Свербига восточная	20	154	53	9	110	69
Эспарцет песчаный	31	163	80	13	107	42
Люцерна посевная	39	140	87	19	110	80

СО ТМ и мышьяка при фиторемедиации техногенно загрязненных почв зависит как от пациентности, кумулятивных свойств рекомендуемых растений, интенсивности бионакопления (ИБН), так и от их «работы», связанной с продолжительностью воздействия их на почвенный покров.

Представленная расчетная скорость отчуждения поллютантов из загрязненной почвы с помощью растений-фиторемедиантов свидетельствует о том, что восстановление их плодородия – потребует целенаправленных колоссальных усилий не одного поколения людей. Предстоит очень сложная, многолетняя, настойчивая работа по детоксикации ТМ и мышьяка и реабилитации населения, которая займет от 8 до 163 лет.

Вместе с тем, следует отметить, что фиторемедиация техногенно загрязненных почв – технологический прием, отличающийся дешевизной применения. При фиторемедиации используется энергия солнца и по сравнению, например, с землеванием или удалением загрязненной почвы, разрабатываемая

технология имеет значительно более высокую агроэкологическую, хозяйственную, экономическую и энергетическую эффективность.

Экологическая эффективность, выраженная в скорости фитоэкстракции, и сокращении сроков фитоочистки достигается при повторном посеве фитомелиоративных растений. Так, срок хозяйственно-биологического использования и долголетия люцерны посевной 5 лет, эспарцета песчаного – 3 года, горца растопыренного и свербиги восточной – 10 лет. На протяжении этого периода «работы» растений ежегодно в конце вегетационного периода зеленая масса скашивается и отвозится на место захоронения. Эффективность фиторемедиации и скорость отчуждения ТМ и мышьяка будет повышаться при повторном посеве предлагаемых для этих целей растений и их чередование по схеме: люцерна – горец и эспарцет – свербига.

Глава 5 ЭКОНОМИЧЕСКИЕ, ЭКОЛОГИЧЕСКИЕ, ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ И СОЦИАЛЬНЫЕ АСПЕКТЫ РЕМЕДИАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ

Как указывалось ранее, проблема детоксикации ТМ, ремедиации (восстановления) плодородия почв и производства экологически безопасной продукции растениеводства требует комплексного решения, включающего агроэкологический мониторинг, изучение степени загрязнения почв и растений, состояния здоровья населения, применение различных технологий очистки и финансирования по их проведению. Оно состоит из следующих взаимосвязанных этапов:

1. Исходной информацией для начала работ по детоксикации ТМ являются многолетние наблюдения, осуществляемые при проведении агроэкологического и медико-биологического мониторинга, включающих изучение состояния ОС и здоровья населения, качество почвенного и растительного покрова;
2. Данные мониторинговых исследований на начальном этапе используются для проведения предупредительно-профилактических мероприятий, направленных на выявление источника и причин загрязнения и разработку мероприятий и технологий по устранению дальнейшего поступления токсиканта в ОС;
3. Научно-исследовательская и изыскательская работа, необходимая для детального изучения характера и степени загрязнения, глубины проникновения поллютанта в почву и площади поражения;
4. Разработка проектно-сметной документации;
5. Открытие источников финансирования и подрядчика для выполнения проектных заданий;

6. При отсутствии финансирования работ по ремедиации, но при наличии материалов агроэкологического и медико-биологического мониторинга может быть принято решение по консервации загрязненных природных территорий или используемых сельскохозяйственных угодий.

5.1 Агроэкологические основы ремедиации загрязненных почв: землевания и фиторемедиации

Как указывалось ранее, ремедиация – это прием восстановления плодородия техногенно загрязненных почв. Для восстановления плодородия загрязненных ТМ почв в настоящее время разработаны и рекомендуются разнообразные физические, химические и биологические приемы. Среди многочисленных технологических приемов, используемых для детоксикации ТМ наибольшее распространение получило землевание. Землевание предполагает снятие загрязненного слоя почвы с последующей заменой его на «чистую» почву. Землевание почв оказывалось наиболее изученным, доступным и эффективным с экологической точки зрения приемом обезвреживания опасных для здоровья ТМ и создание благоприятной среды обитания для населения региона. Вместе с тем землевание, как будет рассмотрено ниже, предполагает большие материально-технические, энергетические и финансовые затраты. Однако экологическая и социальная эффективность землевания, как приема ремедиации почв значительно выше, чем при применении других технологий восстановления плодородия почв.

Фиторемедиация загрязненных почв - слабо изученный технологический прием по детоксикации ТМ.

Научный материал, полученный нами в процессе экспериментальных работ, по изучению экологической эффективности этого нового технологического приема, поможет восполнить этот пробел.

Проведенные автором многолетние исследования по поиску и изучению эколого-биологических особенностей растений-«аккумуляторов» и «гипераккумуляторов», извлекающих ТМ из загрязненной почвы, отличается научной новизной и практической значимостью. Полученные научные данные легли в основу разработки технологии очистки загрязненных почв – фиторемедиации.

Технологическая особенность фиторемедиации заключается в том, что процесс фитоочистки загрязненных почв происходит при возделывании растений, извлекающих ТМ из почвенной толщи.

Нами установлено, что высокой агроэкологической эффективностью фитоочистки загрязненных почв обладают люцерна посевная, эспарцет песчаный, свербига восточная и горец растопыренный.

Однако процесс фитоочистки загрязненных почв очень продолжительный, его положительное воздействие на почвенный покров, как было установлено нами, осуществляется в течение 8-163 лет в зависимости от степени загрязнения и вида поллютанта.

5.2 Технологические особенности землевания и фиторемедиации почв

Технология землевания техногенно загрязненных почв состоит из следующих операций:

1. Снятие загрязненного слоя почвы бульдозерами (40 см), его буртование (на 1 га 16 буртов, площадки 25x25 м), транспортировка (10,6 тыс. т.) и равномерное нанесение его по поверхности полигона, недоступного для населения и сельскохозяйственных животных. При очень сильном загрязнении снятый слой почвы может подвергаться захоронению;
2. На полигонах проводится комплекс мероприятий по рекультивации почв и детоксикации ТМ (систематическое рыхление, внесение органических,

минеральных удобрений, химических мелиорантов, посев многолетних трав, фитомелиоративные мероприятия и др.). Эти целенаправленные мероприятия могут продолжаться в зависимости от их эффективности – два - три и более лет;

3. Для замены загрязненного слоя почвы заготавливается «здоровый» почвогрунт (10,6 тыс. т.). В этих целях используются плодородные (целинные) участки;
4. Заготовленный почвогрунт транспортируется и наносится ровным слоем на рекультивируемый (загрязненный) участок, выравнивается и после проведения комплекса обработок (вспашка, фрезерование, культивация и др.) высеваются многолетние травы.

Технология фиторемедиации включает проведение следующих операций:

1. Вспашка, фрезерование, боронование и прикатывание загрязненного участка;
2. Внесение органических и минеральных удобрений, проведение известкования, культивации, прикатывания;
3. Посев растений - «аккумуляторов» и «гипераккумуляторов», прикатывание;
4. Ежегодное скашивание надземной вегетативной массы, транспортировка и складирование её в местах захоронения;
5. Посев фиторемедиационных культур производится по схеме: люцерна посевная – горец растопыренный или эспарцет песчаный – свербига восточная. Норма высева люцерны – 25 кг/га, горца – 60 кг/га, эспарцета – 80 кг/га, свербиги – 80 кг/га. Люцерна и эспарцет используются в течение четырех лет, после этого поле перепахивается, фрезеруется, прикатывается и высевается горец либо свербига.

Рассматриваемые нами приемы ремедиации (восстановления) техногенно загрязненных почв: землевание и фиторемедиация имеют свои достоинства и недостатки.

Главное преимущество землевания перед фиторемедиацией состоит в том, что оно имеет очень высокое агроэкологическое и социальное значение, так как этот технологический прием может быть осуществлен, с точки зрения временных отрезков, в очень короткие сроки. Вместе с тем, землевание, как подчеркивалось, очень энергоемкий и высокзатратный технологический прием. К тому же при землевании нарушаются вековые циклы почвообразовательного процесса, происходит перемешивание генетических горизонтов почвы и снижается ее плодородие.

При фиторемедиации процессы восстановления плодородия происходят без нарушения физического состояния почвенного покрова. Технология фиторемедиации отличается дешевизной исполнения, она более доступна для осуществления. Однако конечное достижение цели – полная фитоочистка загрязненной почвы, как отмечалось ранее, занимает многие годы.

5.3 Экономическая и экологическая эффективность фиторемедиации и землевания

Научно-практическое обоснование технологий фитоочистки и землевания техногенно загрязненных почв как важнейшее научное направление в экологии предполагает комплексное изучение биологических, биогеоценотических, фитотолерантных и фиторемедиационных особенностей растений, агроэкологическое и экономическое обоснование эффективности технологических приемов ремедиации. Изучение этих вопросов является практической основой сохранения природной среды и производства биологически безопасной продукции растениеводства.

Экономическая и экологическая эффективность позволяет судить о целесообразности и возможности проведения ремедиации почв в складывающейся обстановке и в зависимости от уровня развития

производительных сил и финансовой обеспеченности запланированных мероприятий.

Нами проводился расчет финансовых средств, связанных с возделыванием растений и использованием их на фиторемедиационные цели и проведением землевания с последующей возможной реализацией (продажей) очищенных земель или их сельскохозяйственным использованием.

Для проведения расчетов и анализа экономической эффективности рассматриваемых технологий ремедиации (землевания и фиторемедиации) нами составлялись и рассчитывались кадастровая стоимость, сметные расчеты на проведение землевания и технологические карты (прил. 18-20) по использованию растений на фиторемедиационные цели в соответствии с «Методическими указаниями» (Третьякова, 1993).

Оценка экономической эффективности и ремедиационных технологий - одна из наиболее сложных проблем экологии. Ремедиация предполагает улучшение ОПС и сохранение здоровья человека, то есть решение социальных проблем. Это две непреложные трудно оцениваемые истины, с которыми связано существование человечества.

Тем не менее, нами сделана попытка сравнить затраты на проведение фиторемедиации и землевания с кадастровой стоимостью земельного участка в черте г. Свирска площадью 1 га, используемого для создания лесопарковой зоны г. Свирска или создания СОК и стоимостью произведенной продукции. Затраты на проведение фиторемедиации составляли 859000 руб., землевания – 5597782 руб., кадастровая стоимость земельного участка площадью 1 га составила 1800859 руб. (прил. 4-5).

Стоимость затрат на проведение фиторемедиации складывалась из технологических затрат, производимых при возделывании фиторемедиационных растений (90 лет, 16 повторений по схеме: люцерна-горец, эспарцет-свербига) и землевании – из цикла рекультивационных операций (10 лет). В стоимость произведенной продукции была включена рыночная стоимость произведенного картофеля на ремедиационных участках.

Расчетные финансовые вложения и прогностическая (в течении 100 лет) эффективность приемов ремедиации техногенно загрязненных почв отражена в таблице 40.

Таблица 40 – Расчет финансовых затрат и ожидаемая эффективность ремедиации загрязненных почв, тыс. руб. (на 01.01.2015 г.)

Показатели	Приемы ремедиации		Увеличение (+) Уменьшение (-)
	фиторемедиация	землевание	
Затраты на 1 га, тыс. руб.	858	5597	4739
Доход от реализации земельного участка и произведенной продукции, тыс. руб.	2375	35550	33175
Условно чистый доход, тыс. руб.	1517	29953	28436

Следует подчеркнуть, что технология фиторемедиации по сравнению с землеванием менее затратная, но ее экономическая эффективность, выраженная в условно чистом доходе, оказалась значительно ниже. К тому же процесс фитоочистки очень продолжительный. Затраты на проведение землевания по сравнению с фиторемедиацией возрастает в 6,5 раз, однако условно чистый доход оказался в 19,7 раза выше.

Важнейшим методом оценки эффективности ремедиации почв является биоэнергетическая оценка, которая отражает кроме экономической эффективности и экологический эффект ее применения.

Биоэнергетический метод позволяет измерить и сопоставить энергию живого и прошлого труда, а главное – природных ресурсов, в первую очередь, энергию органического вещества почвенного плодородия. При энергетической оценке технологических приемов сравнивался выход (накопление) энергии с урожаем возделываемых растений.

Известно, что накопление (синтез) органического вещества и усвоение солнечной энергии происходит при фотосинтезе. Значительная часть (20 %) поступающего в почву органического вещества и энергии откладывается в запас почвенного плодородия – гумуса, в каждом килограмме которого содержится 18,84 МДж.

Понятие «совокупная энергия» включает затраты энергии, связанные с процессом производства растениеводческой продукции (технологические затраты) и затраты энергии, содержащиеся в органическом веществе почвенного плодородия.

Таблица 41 – Энергетическая эффективность приемов ремедиации загрязненных почв

Показатели	Приемы ремедиации	
	фиторемедиация	землевание
Выход энергии, ГДж/га	11617,12	6237,0
Затраты совокупной энергии, ГДж/га	3160,96	14952,0
Энергетическая эффективность	3,67	0,42

Фиторемедиационные растения, как указывалось, обладают высоким потенциалом биологической продуктивности, положительным биогеоценотическим влиянием на плодородие почв и, в первую очередь, на накопление гумуса. При их возделывании почва обогащается гумусом. Ежегодное его поступление составляет 2,16 т/га. В каждой тонне органического вещества содержится 18,84 МДж энергии. Технологические затраты складывались при возделывании двух фиторемедиационных растений в звене: люцерна-горец.

Выход (усвоение) энергии при землевании складывается при фотосинтетической деятельности картофеля, возделываемого после проведения этого технологического приема, а энергетические затраты совокупной энергии – при минерализации гумуса и технологических затрат, производимых при его возделывании.

Энергетическая эффективность ремедиационных технологий рассчитывалась как отношение суммы энергии, накопленной возделываемыми растениями к сумме совокупных затрат энергоресурсов при проведении цикла технологических операций.

Таким образом, расчеты энергозатрат при применении технологий ремедиации техногенно загрязненных почв показали, что фиторемедиация по сравнению с землеванием в условиях региона имеет более высокую энергетическую эффективность. Землевание, как указывалось, имеет высокую социальную значимость, но низкую энергетическую эффективность. Тем не менее

землевание, как прием ремедиации загрязнения, несмотря на высокие материально-финансовые и энергетические затраты, экологически обоснован и оправдан, так как направлен на улучшение и сохранение ОПС и здоровья человека.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ:

1. Целинные почвы садово-огородного кооператива «Астра», находящегося в черте г. Свирска загрязнены свинцом – 5,6 ПДК, мышьяком – 216 ПДК, кадмием – 0,28 ПДК; серые лесные почвы учхоза «Молодежное» Иркутского ГАУ, расположенного в 12 км от г. Иркутска – свинцом – 0,37 ПДК, кадмием – 0,31 ПДК, мышьяком – 2,09 ПДК.
2. Коэффициент опасности загрязнения почвенного покрова в условиях СОК «Астра» колебался от 32 до 128 единиц – эти почвы отнесены к категории высоко опасных; учхоза «Молодежное» – 16-32 единицы – умеренно опасные для проживающего населения.
3. По интенсивности фитоэкстракции ТМ все возделываемые растения были классифицированы на три группы. В основу классификации были положены рассчитанные нами КФЭ: индикаторы – растения, указывающие на присутствие в почве ТМ; толеранты – растения, растения избегающие усвоение нежелательных для них элементов; «аккумуляторы» – растения, которые более интенсивно, чем другие, рядом произрастающие растения потребляют и накапливают в органах и тканях ТМ.
Наиболее полно требованиям, которые предъявляются растениям – «аккумуляторам» и «гипераккумуляторам» отвечают кормовые растения, и в первую очередь, кострец безостый – высокоурожайное многолетнее растение семейства мятликовых. Наибольшее накопление свинца (6,1 ПДК) отмечалось в корнеплодах столовой свеклы. Высокий КФЭ позволяет отнести эту культуру к группе индикаторов. Загрязнение свинцом огурцов было на уровне 2,14 ПДК, картофеля – 2 ПДК, моркови – 1,9 ПДК, томатов – 1,48 ПДК. К толерантным культурам отнесены – картофель и белокочанная капуста. Высокий КФЭ ($> 1,6$) в зонах исследований отмечался у гороха, лука, салата, укропа. Аномальное накопление свинца

отмечалось в плодовых культурах. Кормовые культуры были отнесены к растениям – «аккумуляторам», а люцерна – к «гипераккумуляторам».

4. Картофель и овощи, возделываемые в СОК «Астра», накапливали мышьяк в количествах выше ПДК. Они оказались непригодны для питания не только детям, но и взрослым. Особенно высокое содержание мышьяка было в столовой свекле, огурцах. Из овощных культур, выращиваемых в учхозе «Молодежное», непригодными для пищевых целей оказались огурцы, томаты, морковь, укроп и салат. Высокая аккумуляция мышьяка свойственна люцерне – КФЭ был равен 1,2. Выявлена толерантность овса, возделываемого на зеленый корм.
5. Высоким КН, СО и КФЭ ТМ и мышьяка обладают растения – «аккумуляторы» и «гипераккумуляторы»: горец растопыренный, свербига восточная, эспарцет песчаный и люцерна посевная. КФЭ кадмия (Cd) из почвы у этих растений был выше, чем у контрольного растения на 28-76 %, свинца (Pb) – 23-130 %, мышьяка (As) – 28-62 %.
6. Растения – «аккумуляторы» и «гипераккумуляторы», рекомендуемые, как эффективные в технологиях фитоэкстракции обладают комплексом ценных эколого-биологических особенностей: высокими фотосинтетическим потенциалом и биологической продуктивностью, мощной, хорошо развитой корневой системой, проникающей в глубокие подпахотные горизонты, они засухо- и морозостойки.
7. За счет фитоэкстракции содержание кадмия в почве уменьшилось на 0,90 г/га в течение одного года, свинца – 1,27, мышьяка – 7,15 г/га – в условиях СОК «Астра» г. Свирска и соответственно Cd – 1.26 г, Pb – 2,31 г и As – 1,47 г/га – в условиях учхоза «Молодежное» Иркутского ГАУ.
8. Проведенные прогностические расчеты показали, что полное очуждение изучаемых поллютантов из загрязненной почвы с помощью растений – «аккумуляторов» и «гипераккумуляторов» может быть достигнуто в зависимости от вида и степени загрязнения за 8-163 года.

9. Технология фитоэкстракции по сравнению с землеванием менее затратна. Затраты на проведение землевания по сравнению с фиторемедиацией возрастают в 6,5 раз, но ее экономическая эффективность, выраженная в условно чистом доходе оказалась значительно ниже.
10. Фиторемедиация по сравнению с землеванием в условиях региона имеет более высокую энергетическую эффективность. Коэффициент энергетической эффективности составил – 3,67, землевания – 0,42 единицы.

СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АМЗ – Ангарский металлургический завод;
- ВОЗ – Всемирная организация здравоохранения;
- ГОСТ – государственный стандарт;
- ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота;
- ДОК – допустимая остаточная концентрация;
- ЖКТ – желудочно-кишечный тракт;
- ИБН – интенсивность бионакопления;
- ИрГАУ – Иркутский государственный аграрный университет;
- ИрГСХА – Иркутская государственная сельскохозяйственная академия;
- ИрГТУ – Иркутский государственный технический университет;
- КБН – коэффициент биологического накопления;
- КБП – коэффициент биологического поглощения;
- КН – количественное накопление;
- КРС – крупный рогатый скот;
- КФЭ – коэффициент фитоэкстракции;
- ЛД – летальная доза;
- МДУ – максимально допустимый уровень;
- МО – муниципальное образование;
- МРС – мелкий рогатый скот;
- ОДК – ориентировочно допустимая концентрация;
- ОПС – окружающая природная среда;
- ОС – окружающая среда;
- ПДК – предельно допустимая концентрация;
- ПОМ – природоохранные мероприятия;
- РГА – растения гипераккумуляторы;
- СГТ – санитарно-гигиенические требования;
- СО – скорость отчуждения;

СОК – садово-огородный кооператив;

ТД – токсическая доза;

ТМ – тяжелые металлы;

ТЭЦ – теплоэлектроцентраль;

ЦНС – центральная нервная система;

ЭБП – экологически безопасная продукция;

ЭБРП – экологически безопасная растениеводческая продукция.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Агроклиматические ресурсы Иркутской области / под.ред. З.Н. Пильникова. – Л.: Изд-во Гидрометеиздат, 1977. – С.9-15.
2. Андреева, И.В. Фиторемедиационная способность дикорастущих и культурных растений / И.В. Андреева, М.В. Злобина, Р.Ф. Байбеков и др. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. – 2010. - №1. – С.8-17.
3. Андреева, И.В. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами / И.В. Андреева, Ф.Р. Байбеков, М.В. Злобина // Природообустройство. – 2009. - №5. – С. 5-11.
4. Аристархов, А.Н. Оптимизация питания растений и применения удобрений в агроэкосистемах / А.Н. Аристархов. – М.: ЦИНАО, 2000. – 524 с.
5. Асаул, А.Н. Экономика недвижимости : учебное пособие / А.Н. Асаул, А.В. Карасев. – М.: МИКХиС, 2001.
6. Байбеков, Р.Ф. Фиторемедиационная способность культурных и декоративных растений при комплексном загрязнении почв тяжелыми металлами / Р.Ф. Байбеков, Н.Ф. Ганжара, М.В. Злобина // Плодородие. – 2010. - №5(56). – С. 42-43.
7. Байдина, Н.Л. Инактивация тяжелых металлов гумусом и цеолитами в техногенно загрязненной почве / Н.Л. Байдина // Почвоведение. – 1994. - №9. – с. 108-112.
8. Байсеитова, Н.М. Накопление тяжелых металлов в растениях в зависимости от уровня загрязнения почв / Н.М. Байсеитова, Х.М. Сартаева, М.У. Сарсенбаева, Б.Т. Раимбекова // Молодой ученый. – 2014. - №2(61). – С. 379-382.
9. Байсеитова, Н.М. (б) Фитотоксичное действие тяжелых металлов при техногенном загрязнении окружающей среды / Н.М. Байсеитова, Х.М. Сартаева // Молодой ученый. – 2014. - №2(61). – С. 382-384.

10. Баранова, Л. Завершена разработка ТЭО проекта по ликвидации очагов загрязнения мышьяком в Свирске [Электронный ресурс] / Л. Баранова. – 2007. – Режим доступа: <http://www.snews.ru>
11. Басов, Ю.В. Особенности аккумуляции тяжелых металлов гречихой в условиях техногенеза / Ю.В. Басов, А.Ю. Басов // Вестник ОрелГАУ. – 2010. - №4(10). – С. 39 – 43.
12. Битюцкий, Н.П. Микроэлементы высших растений / Н.П. Битюцкий. – СПб.: Изд-во СПб ун-та, 2011. – 368 с.
13. Большаков, В.А. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах / В.А. Большаков // Почвоведение. – 2002. - №7. – С.844-849.
14. Бутырин, М.В. Особенности загрязнения почв и растений тяжелыми металлами и мышьяком и состояние здоровья населения МО г. Свирск / М.В. Бутырин, Ш.К. Хуснидинов, Р.В. Замашиков // материалы международной научно-практической конференции молодых ученых, посвященной 70-летию Победы ВОВ и 100-летию со дня рождения А.А. Ежевского (15-16 апреля 2015 г.). – Иркутск: Изд-во ИрГАУ, 2015. – С. 98-102.
15. Важенин, И.Г. Почва как активная система самоочищения от токсического воздействия тяжелых металлов – ингредиентов техногенных выбросов / И.Г. Важенин // Химия в сельском хозяйстве. – 1982. - №3. – С. 3-5.
16. Васильева, Т.Н. Фиторемедиационные аспекты загрязнения урбанизированных почв Оренбурга : автореф. дис. ...канд. биол. наук : 03.02.01 / Васильева Татьяна Николаевна. – Оренбург, 2011. – 23 с.
17. Виноградов, А. П. Геохимия редких и рассеянных элементов в почвах, 2-е изд. / А.П. Виноградов. – М.: Изд-во АН СССР, 1957. – 238 с.
18. Водяницкий, Ю.Н. Загрязнение почв тяжелыми металлами : учебное пособие / Ю.Н. Водяницкий, Д.В. Ладонин, А.Т. Савичев. – М.: Типография Россельхозакадемии, 2012. – 305 с.
19. Вяйзенен, Г.Н. Ускорение выведения тяжелых металлов из организма животных / Г.Н. Вяйзенен, В.А. Савин, В.А. Гуляев и др.; под ред. Г.Н. Вяйзенена. – Новгород, 1997. – 301 с.

20. Галактионова, А.А. Применение торфа и продуктов его переработки для восстановления техногенно нарушенных земель : реферативный обзор / А.А. Галактионова // Торфяные удобрения и питательные смеси для сада и огорода: ВНИИ торф. пром-ти. – 1993. – 21 с.
21. Гальперин, М.В. Экологические основы природопользования : учебник / М.В. Гальперин. – М.: ФОРУМ: ИНФРА-М, 2003. – 256 с.
22. Герасименко, В.П. Практикум по агроэкологии: учеб.пособие для ВУЗов / В.П. Герасименко. – СПб.: Из-во «Лань», 2009. – 432 с.
23. Гиниятуллин, Р.Х. Оценка содержания металлов в надземных органах березы повислой в условиях полиметаллического загрязнения окружающей среды / Р.Х. Гиниятуллин, А.Ю. Кулагин // Аграрная Россия. – 2010. - №6. – С.21-25.
24. Гогмачадзе, Г.Д. Агроэкологический мониторинг почв и земельных ресурсов Российской Федерации / под общ. ред. Д.М. Хомякова. – М.: Изд-во Моск. ун-та, 2010. – 592 с.
25. Гордеева, О.Н. Особенности биохимии мышьяка в природно-техногенных условиях южного Прибайкалья / О.Н. Гордеева, Г.А. Белоголова // Материалы всероссийской науч.-технич. конф «геонауки», посвященной 80-летию факультета геологии, геоинформатики и геоэкологии. – вып.10. – Иркутск: ИрГТУ, 2010. – С. 157-162.
26. ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – М.: Стандартиформ, 2008. – 8 с.
27. ГОСТ 26205-91 Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 10 с.
28. ГОСТ 26207-91 Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 7 с.
29. ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 8 с.

- 30.ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 6 с.
- 31.Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Иркутской области в 2012 году. – Иркутск: ООО «Форвард», 2012. – 408 с.
- 32.Граковский, В.Г Санация загрязненных почв и рекультивация нарушенных земель в России / В.Г. Граковский, С.Е. Сорокин, А.С. Фрид // Почвоведение. – 1994. - №5. – с.67-72.
- 33.Давыдова, С.Л. Тяжелые металлы как супертоксиканты XXI века : учебное пособие / С.Л. Давыдова, В.И. Тагасов. – М.: Изд-во РУДН, 2002. – 140 с.
34. Джувеликян, Х.А. Загрязнение почв тяжелыми металлами. Способы контроля и нормирования загрязненных почв : учебно-методическое пособие для ВУЗов / Х.А. Джувеликян, Д.И. Щеглов, Н.С. Горбунова. – Воронеж: Издательско-полиграфический центр Воронежского государственного университета, 2009. – 22 с.
- 35.Добровольский, В.В. Биосферные циклы тяжелых металлов и регуляторная роль почвы / В.В. Добровольский // Почвоведение. – 1997. - №4. – С. 431-441.
- 36.Добровольский, В.В. Основы биогеохимии : учебник для студентов ВУЗов обучающихся по спец. 013000 и направлению 510700 «почвоведение» / В.В. Добровольский. – М.: Издательский центр «Академия», 2003. – 400 с.
- 37.Доржонова, В.О. Фитоэкстракция и фитотоксичность тяжелых металлов в загрязненных почвах :автореф. дис. ...канд. биол. наук : 06.01.04 / Доржонова Виктория Олеговна. – Улан-Удэ, 2003. – 23 с.
- 38.Дричко, В.Ф. Оценка скорости очищения загрязненных почв методом фитомелиорации / В.Ф. Дричко // Почвоведение. – 2006. - №9. – С.1144-1149.
- 39.Душенков, В. Фиторемедиация: зеленая революция в экологии / В. Душенков, И. Раскин // Агро XXI. – 2000. - №9. – С. 20.
40. Евдокимова, Г.А. Микробиологическая активность почв при загрязнении тяжелыми металлами / Г.А. Евдокимова // Почвоведение. – 1983. - №6. – с. 16.

41. Егошина, Т.Л. Особенности аккумуляции тяжелых металлов дикорастущими видами ягод и грибов/ Т.Л. Егошина, А.Е. Скопин, А.Н. Шулятьева // Пищевые ресурсы дикой природы и экологическая безопасность населения : материалы междунар. конф. 16-18 ноября 2004 г., Киров : ВНИИОЗ, 2004. – 221с.
42. Епишина, Э.Д. Построение модели определения ценности земельных участков в зависимости от их месторасположения / Э.Д. Епишина, Б.А. Николаев // Имущественные отношения в РФ. – 2008. - №7(82). – С.
43. Зудилин, С.Н. Накопление травами тяжелых металлов / С.Н. Зудилин, А.А. Толпекин // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2006. - №3. – С.24-26.
44. Илларионова, Е.А. Тяжелые металлы. Токсикологическая характеристика. Изолирование и определение : учеб. пособие для студентов фармацевтического ф-та / Е.А. Илларионова, И.П. Сыроватский. – Иркутск, 2010. – 55 с.
45. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы – защитные возможности почв и растений – урожай и химические элементы в системе почва-растения / В.Б. Ильин, М.Д. Степанова. – Новосибирск: Наука, 1982. – С 73-92.
46. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе «почва-растение» / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 152 с.
47. Ильин, В.Б. Элементный химический состав растений / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1985. – 129 с.
48. Кабата-Пендиас, А., Микроэлементы в почвах и растениях (пер. с англ.) / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989 – 439с.
49. Капитанова, Т.М. Прогнозирование ожидаемых уровней загрязнения тяжелыми металлами кормовых растений / Т.М. Капитанова, Е.С. Минина, М.А. Семина и др. // Миграция тяжелых металлов и радионуклидов в звене: почва-растение (корм, рацион)–животное-продукт животноводства-человек : материалы Второго Междунар. Симпозиума, 28-30 марта 2000 г. – Великий Новгород: НовГУ, 2000. – 273с.

50. Капитонова, О.А. Особенности аккумуляции тяжелых металлов ряской малой / О.А. Капитонова // Пищевые ресурсы дикой природы и экологическая безопасность населения : материалы Междунар. конф., 16-18 ноября 2004 г. – Киров: ВНИИОЗ, 2004. – 221с.
51. Каплин, В.Г., Основы экотоксикологии : учеб. пособие для ВУЗов / В.Г. Каплин. – М.: КолосС, 2007.-232с.
52. Квеситадзе, Г.И. Метаболизм антропогенных токсикантов в высших растениях / Г.И. Квеситадзе, Т.А. Хатысишвили и др. под ред. В.О. Попова. – М.: Наука, 2005, 199 с.
53. Кириллюк, Л.И. Тяжелые металлы в растениях природных и урбанизированных ландшафтов /Л.И. Кириллюк, А.А. Буганов, Е.А.Бахтина// Лесное хозяйство. – 2004. - №6. – С.19-21.
54. Ковалевский, А.Л. Основные закономерности формирования химического состава растений / А.Л. Ковалевский // Тр. Бурятского института БФ СО АН СССР. – вып. 2. – Улан-Удэ, 1969. – с. 6-28.
55. Ковальский, В.В. Микроэлементы в растениях и кормах / В.В. Ковальский, Ю.И. Раецкая, Т.И Грачева. – М.: Колос, 1997. – 236 с.
56. Ковда, В.А. Биохимия почвенного покрова / В.А. Ковда. – М., 1985. – 263 с.
57. Кудряшова, В.И. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими растениями : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Кудряшова Вероника Игоревна. - , 2003. – 144 с.
58. Кузнецов, А.Е. Прикладная экобиотехнология : учеб. пособие / А.Е. Кузнецов и др. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 485 с.
59. Кузнецова, А.И. Геологические травы в Восточной Сибири / А.И. Кузнецова. – Иркутск, 1966. - 278 с.
60. Кузьмин, В.А. Краткий обзор работ по изучению почв Иркутской области / В.А. Кузьмин, В.Т. Колесниченко, М.А Корзун // Почвы Иркутской области, их использования и мелиорация. - Иркутск, 1979. – С. 5-16.
61. Кузьмин, В.А. Почвы Прибайкалья и Северного Забайкалья / В.А. Кузьмин. – Новосибирск: Наука, 1988. – 159 с.

62. Кулаева, О.А. Молекулярно-генетические основы устойчивости высших растений к кадмию и его аккумуляции / О.А. Кулаева, В.Е. Цыганов // Экологическая генетика. – том VIII. – 2010. - № 3. – С. 3-15.
63. Лейфер, Л.А. Оценка рыночной стоимости объектов недвижимости, находящихся в отдаленных районах / Л.А. Лейфер, З.А. Кашникова, П.Е. Уханов, Д.А. Шегурова // Вопросы оценки. – 2006. - №4. – С.
64. Ложниченко, О.В. Экологическая химия : учебное пособие для ВУЗов / О.В. Ложниченко, И.В. Волкова, В.Ф. Зайцев. – М.: Академия, 2008.-265с.
65. Лунев, М.И. Влияние осадка сточных вод на содержание тяжелых металлов в почве и растениях / М.И. Лунев // Гигиена и санитария. – 2004. - №2. – С.34.
66. Маджугина, Ю.Г. Исследование способности вейника наземного аккумулировать тяжелые металлы с целью разработки технологий фиторемедиации : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.12 / Маджугина Юлия Григорьевна. – М, 2008. – 25 с.
67. Макеев, О.В. Агропроизводственное значение и характеристика серых лесных почв Бурятской АССР / О.В. Макеев // Материалы Бурятского регионального совещания по развитию производительных сил Восточной Сибири. – Улан-Удэ: Бурят. кн. изд-во, 1959. - С. 513-520.
68. Мартин, Р. Бионеорганическая химия токсичных ионов металлов / Р. Мартин // Некоторые вопросы токсичности ионов металлов : пер. с англ. – М.: Мир, 1993. – С. 25-61.
69. Методические рекомендации по определению рыночной стоимости земельных участков, утвержденные Распоряжением Министерства имущественных отношений Российской Федерации от 06.03.2002 г. № 568-р. – М., 2002.
70. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. – М, 1989.
71. Минеев, В.Г. Экологические проблемы агрохимии : учебное пособие / В.Г. Минеев. – М.: Изд-во МГУ, 1988. – 286 с.

- 72.Надеждин, Б.А. Лено-Ангарская лесостепь: Почвенно-географический очерк / Б.А. Надеждин. – М., 1961. - С. 149-312.
- 73.Найнштейн, С.Я. Гигиена окружающей среды и применение удобрений / С.Я. Найнштейн, Г. В. Меренюк, Г. Я. Чегринец – Кишинев: Штиинца, 1987. - 126 с.
- 74.Нейтрализация загрязненных почв: монография / Под общ.ред. Ю.А. Можайского. – Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. – 528с.
75. Никифорова, М.В. К вопросу о снижении урожая и его качества на загрязненных тяжелыми металлами почвах / М.В. Никифорова, К.Ю. Ксенофонтова, Г.А. Дьячкова и др. // Зерновое хозяйство. – 2006. - №4. – С.29-31.
- 76.Обухов, А.И. Экологические последствия загрязнения почв тяжелыми металлами и мероприятия по их устранению / А.И. Обухов // Поведение поллютантов в почвах и ландшафтах : сборник научных трудов. – Пушкино, 1990. – С. 52-59.
- 77.Овчаренко, М.М. Тяжелые металлы в системе почва-растения-удобрения / М.М. Овчаренко. – М.: Пролетарский светоч, 1997. – 290 с.
- 78.Оценка земельных ресурсов : учебное пособие / под общ. ред. В.П. Антонова, П.В. Лойко. – М.: Институт оценки природных ресурсов, 1999. – 364 с.
- 79.Оценка недвижимости : учебное пособие / под ред. А.Г. Грязновой, М.А. Федотовой. – М.: Финансы и статистика, 2002.
- 80.Плеханова, И.О. Влияние ОСВ на содержание и фракционный состав тяжелых металлов в супесчаных дерново-подзолистых почвах / И.О. Плеханова, О.В. Кленова, Ю.Д. Кутукова // Почвоведение. – 2001. - №4. – С. 496-503.
- 81.Плешакова, Е.В. Биогенная миграция Cd, Pb, Ni и As в системе «почва-растение» и изменение биологической активности почвы / Е.В. Плешакова, Е.В. Решетников, Е.В. Любань и др. // Известия Саратовского университета. – Т.10 Сер. Науки о Земле. –2010. – вып.2. – С.59-66.

82. Постников, Д.А. Фитомелиорация и фиторемедиация почв сельскохозяйственного назначения с различной степенью окультуренности и экологической нагрузки : дис. ... д-ра с/х наук : 03.00.16 / Постников Дмитрий Андреевич. – Брянск, 2009. – 261 с.
83. Прасад, М.Н. Практическое использование растений для восстановления экосистем, загрязненных металлами / М.Н. Прасад // Физиология растений, 2003. – Т.50. - №5. – С. 764-780.
84. Прорвич, В.А. Основы экономической оценки городских земель / В.А. Прорвич. – М.: Дело, 1998.
85. Пшенко, Е. Ртутный вопрос получил ответ / Е. Пшенко // Областная общественно-политическая газета. – 2009. – 11 сентября.
86. РД-52.18-191-89 Методика выполнения измерений массовой доли кислорастворимых форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия) в пробах почвы атомно-абсорбционным методом : методические указания. – М.: Госкомгидромет, 1990. – 16 с.
87. РД-52.18-289-90 Методика выполнения измерений массовой доли подвижных форм металлов (меди, свинца, цинка, никеля, кадмия, кобальта, хрома, марганца) в пробах почвы атомно-абсорбционным методом : методические указания. – М.: Госкомгидромет. – 1990. – 37 с.
88. Рябинина, З.Н. Растительный покров степей Южного Урала (Оренбургская область) / З.Н. Рябинина. – Оренбург: Изд-во ОГПУ, 2003. – 224 с. Макеев, 1959
89. Серегин, И.В. Механизмы гипераккумуляции и устойчивости растений к тяжелым металлам [Электронный ресурс] / И.В. Серегин, А.Д. Кожевникова // Экология мегаполисов: фундаментальные основы и инновационные технологии : материалы Всерос. симпозиума, 21-25 ноября 2011 г. – М.: Изд-во «Лесная страна», 2011.- С.131. – Режим доступа: <http://www.agroxxi.ru/shop/fiziologija-rastenii/yekologija-megapolisov-fundamentalnye-osnovy-i-innovacionnye-tehnologii.html>

90. Сискевич, Ю.И. Использование рапса ярового в качестве фитомелиоранта / Ю.И. Сискевич, Г.Н. Николаева // *АгроXXI*. – 2008. – №4-6. – С.67-69.
91. Скарлыгина-Уфимцева, М. Д. Техногенное загрязнение растений тяжелыми металлами и его эколого-биологический эффект / М.Д. Скарлыгина-Уфимцева // *Тяжелые металлы в окружающей среде*. - М.: МГУ, 1980. - С. 103-108.
92. Сосницкая, Т.Н. Экологическое состояние почв г. Свирска Иркутской области: особенности накопления и детоксикации тяжелых металлов : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Сосницкая Татьяна Николаевна. – Иркутск, 2014. – 23 с.
93. Средин, А.Д. Реабилитация почв лесных питомников и урбанизированных территорий с использованием газонных трав и удобрений из органических отходов : автореф. дис. ...канд. с-х наук : 06.03.01 / Средин Алексей Дмитриевич . – Йошкар-Ола, 2011. – 24 с.
94. Ступин, Д.Ю. Загрязнение почв и новейшие технологии их восстановления : учебное пособие / Д.Ю. Ступин. – СПб.: Издательство «Лань», 2009. – 432 с.
95. Тарасевич, Е.И. Методы оценки недвижимости : учебное пособие / Е.И. Тарасевич. – СПб.: ТОО «Технобалт», 1995. – 248 с.
96. Титов, А.Ф. Устойчивость растений к тяжелым металлам / А.Ф. Титов, В.В. Таланова, Н.М. Казнина, Г.Ф. Лайдинен. – Петрозаводск: Карельский научный центр РАН, 2007. – 172 с.
97. Третьякова, Г.Ф. Методические указания по составлению технологических карт в растениеводстве / Г.Ф. Третьякова. – Иркутск, 1993. – 7 с.
98. Трофимова, Т.А. Применение посевов горчицы сарептской в целях фиторемедиации техногенно загрязненных тяжелыми металлами светло-каштановых почв южной пригородной агропромзоны г. Волгограда : дис. ... канд. с/х наук : 03.00.16 / Трофимова Татьяна Анатольевна. – Волгоград, 2009. – 184 с.
99. Тышкевич, Г.А. Экология и агрономия / Г.А. Тышкевич. – Кишинев: Штиица, 1991. – 268 с.

100. Тяжелые металлы в почвах и растениях / Х. Чулджиян и др. // Экологическая конференция. - Братислава, 1988. – Вып. 1. - С. 5–24.
101. Устинов, И.Я. Содержание тяжелых металлов в природных почвах некоторых автомагистралей Западной Сибири / И.Я. Устинов // Сибирский биологический журнал. – 1991. - №4. – с. 40-48.
102. Федеральный стандарт оценки «Общие понятия оценки, подходы и требования к проведению оценки (ФСО № 1)», утвержденный приказом Минэкономразвития России от 20 июля 2007 г. № 256.
103. Федеральный стандарт оценки «Требования к отчету по оценке (ФСО № 3)», утвержденный приказом Минэкономразвития России от 20 июля 2007 г. № 254.
104. Федеральный стандарт оценки «Цель оценки и виды стоимости (ФСО № 2)», утвержденный приказом Минэкономразвития России от 20 июля 2007 г. № 255.
105. Хуснидинов, Ш.К. Методические рекомендации по проведению лабораторно-практических занятий по курсу: «Энергетическая оценка агроэкосистем» / Ш.К. Хуснидинов, Т.Г. Кудрявцева, И.И. Шеметов. – Иркутск: ИрГСХА, 2008. – 47с.
106. Хэммонд, П.Б. Токсичность иона металла в организме человека и животных / П.Б. Хэммонд // Некоторые вопросы токсичности ионов металлов : пер. с англ. – М.: Мир, 1993. – С. 131-161.
107. Цугкиев, Б.Г. Экологические способы нейтрализации тяжелых металлов в почве / Б.Г. Цугкиев, Т.Б. Басаев, Л.Ч. Гагиева и др. // Земледелие. – 2004. - №1. – С.15.
108. Черников, В.А. Экологически безопасная продукция : учеб.пособие для ВУЗов / В.А. Черников, О.А. Соколов. – М.: КолосС, 2009. – 448с.
109. Чиркова, Т.В. Физиологические основы устойчивости растений / Т.В. Чиркова. – СПб.: Изд-во СПб.университета, 2002. – 244 с.

110. Ягодин, Б.А. Тяжелые металлы и здоровье человека / Б.А. Ягодин // Химия в сельском хозяйстве. – 1995. - №4. – с. 18-20.
111. Янников, И.М. Оценка эффективности гелий-неонового лазера как компонента экобиозащитных систем при загрязнении почвы соединениями мышьяка / И.М. Янников, В.А. Алексеев, Т.Л. Зубко и др. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. - 2009. - № 1(15). - С. 186-190.
112. Antosiewicz, D.M. Adaptation of plants to an environment polluted with heavy metals / D.M. Antosiewicz // Acta Soc. Bot. Pol. – 1992. - V. 61. – P. 281–299.
113. Baker, A.J.M. Accumulators and excluders strategies in the response of plants to heavy metals / A.J.M. Baker // J. Plant Nutr. – 1981. - V. 3, N 1/4. – P. 643–654.
114. Chaney, R.L. Potential use of metal hyperaccumulatoros / R.L. Chaney and others // Mining Environmental Management. – 1995. – Vol 3. – P. 9-11.
115. Cunningham, S.D. Promises and prospects for phytoremediation / S.D. Cunningham, B.W. Ow // Plant Physiologi. – 1996. – Vol 110. – P. 715-719/
116. Dushenkov, S.M. Phytoremediation: a novel approach to an old problem / S.M. Dushenkov, Y. Kapulnik, M. Blaylock et al. // Global Environmental Biotechnology. – Amsterdam: Elsevier Science, 1997. – P. 563-572.
117. El Bassam, N. Kontamination von Pflanzen, Böden und Grundwasser durch Schwermetalle aus Industrie- und Siedlungsabfällen. gwf – Wasser Abwasser 123/11, 1982, pp. 539-549.
118. Kucharski, R. Problemy zagrożenia terenów rolnych metalami ciężkimi w rejonie Olkusza / R. Kucharski, E. Marchwinska // Zeszyty Naukowe AGH. – Stanislama. – 32. – 1990. – P. 123-141.
119. Lantzy, R. J., and F. T. Mackenzie. Atmospheric trace metals: Global cycles and assessment of man's impact, Geochim. Cosmochim. Acta, 43(4), 1979, pp.511–525.
120. Lisk, D.J. (1972). Trace metals in soils, plants and animals, Advances in Agronomy, 24:267-325

121. Mathis, P. Plant uptake of heavy metals following glyphosate treatment / P. Mathis, A. Kayser // Proc. 67th Inter. Conf. Biogeochem. Trans Elements, July 29 – August 2. – Ontario. – 1999. – P. 362-363.
122. Moffat, A. Plants proving their worth in toxic metal cleanup / A. Moffat // Science. – 1995. – Vol 269. – P. 302-303.
123. Page, A.L. Fate and Effects of Trace Elements in Sewage Sludge When Applied to Agricultural Lands, U.S. Environ. Protection Tech. Ser. EPA-670 2-74-005, U.S. EPA, Cincinnati, Oh., 1973.
124. Pip, E. Cadmium, copper and lead in soils and garden produce near a metal smelter at Flin Flon, Manitoba. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 46, 1991, pp. 790-796.
125. Raskin, I. Bioconcentration of heavy metals by plants / I. Raskin, P.B.A.N. Kumar, S. Dushenkov and others // Current Opinions in biotechnology. – 1994. – Vol 5. – P. 285-290.
126. Sommers, L. E. Chemical composition of sewage sludges and analysis of their potential use as fertilizers. Journal of Environmental Quality, Vol. 6, № 2, 1977, pp. 225-232.
127. Timmerbeil, H. Untersuchungen zur Schwermetall-belastung im Stadtgebiet von Trier anhand von Baumen als Bioindikatoren / H. Timmerbeil, B. Ruthsatz // Mitt. Pollichia Pfaelz. Ver. Naturk. und Naturschutz. – Bd. 76. – 1990. – S. 45-81.

Приложение 3 – Загрязнение почв тяжелыми металлами и рекомендуемые мелиоративные мероприятия по их детоксикации

Степень загрязнения почв	Характеристика загрязнения почв	Возможное использование	Мелиоративные мероприятия
Допустимая	Содержание химических веществ превышает фоновое, но меньше ПДК	Под все сельскохозяйственные культуры	Известкование, внесение удобрений
Низкая	Содержание химических веществ в почве больше ПДК при лимитирующем общесанитарном и миграционном водном показателях вредности, но ниже ПДК по транслокационному показателю	Ограничиваются культуры, высокочувствительные к потреблению ТМ. Потребление продукции растениеводства не ограничивается, за исключением использования для производства диетического и детского питания	Известкование, внесение удобрений и сорбентов
Средняя	Содержание химических веществ в почве превышает ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном миграционном воздушном показателях вредности, но ниже ПДК по транслокационному показателю	Возможно выращивание корнеклубнеплодов, кроме свеклы. Исключается производство столовой зелени (салат, лук, шпинат, укроп, петрушка) овощей и ягодных культур. Вводятся ограничения на сбор грибов и лекарственных растений	Глубокая (30-40 см) вспашка. Известкование, внесение удобрений и сорбентов. Контроль культур на содержание тяжелых металлов
Высокая	Содержание химических веществ в почве превышает ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности	Под кормовые и технические культуры, устойчивые к ТМ. Ограничиваются продовольственные культуры, слабочувствительные к ТМ	Удаление верхнего (0-20 см) загрязненного слоя, известкование, внесение удобрений и сорбентов
Очень высокая	Содержание химических веществ в почве выше ПДК по всем показателям	Изъятие земель из сельскохозяйственного оборота	Консервация земель. Мониторинг токсикантов

Приложение 4 – Сводный расчет стоимости работ по рекультивации загрязненных земель (землевание), руб. на 1 га

№ п.п.	Наименование работ	без НДС	НДС	с НДС
1	Снятие и вывоз загрязненной почвы с участка загрязнения	1 078 438	194 119	1 272 557
2	Завоз и планировка чистого грунта на участке загрязнения	1 413 208	254 377	1 667 585
3	Рекультивация на участке загрязнения	19 478	3 506	22 984
4	Вывоз загрязненной почвы с участка временного хранения	884 411	159 194	1 043 605
5	Рекультивация участка временного хранения	21 376	3 848	25 224
6	Рекультивация участка забора чистого грунта	38 640	6 955	45 595
7	Подготовка полигона	735 018	132 303	867 321
8	Заполнение и рекультивация полигона	428 316	77 097	505 413
9	Проектные	104 000	18 719	122 719
10	Изыскательские	7 335	1 320	8 655
11	Экспертиза	13 664	2 460	16 124
	ВСЕГО	4 743 884	853 898	5 597 782

Приложение 5 – Выписка из отчета № 3-оц-15 об оценке рыночной стоимости земельного участка расположенного по адресу: Иркутская область, Черемховский район, г. Свирск, ул. Матросова, 5 с кадастровым номером № 38:33:020105:7

Основание для проведения оценки:	Договор №3-оц/2015 от 24.02.2015 г.
Порядковый номер и дата составления отчета:	№ 03-оц-15 26.02.2015 г.
Документ-основание на осуществление оценочной деятельности:	Свидетельство о членстве в саморегулируемой организации оценщиков НП «Кадастр-оценка» (выписка №00293 от 15 февраля 2010 г.)
Страховой полис	Договор (Полис) страхования ответственности оценщика № 433-233-006227/15 выдан 04.02.15 г. Филиал ОСАО «Ингосстрах»
Общая информация, идентифицирующая объект оценки:	
Местонахождение объекта оценки:	Иркутская область, Черемховский район, г. Свирск, ул. Матросова, 5, кадастровый № 38:33:020105:7
Объект оценки:	Земельный участок, площадью 1396 кв.м.
Дата оценки (дата определения стоимости):	24.02.2015 г.
Результаты оценки, полученные при применении различных подходов к оценке:	
Рыночная стоимость, полученная затратным подходом	Не использовался
Рыночная стоимость, полученная сравнительным подходом	<i>251 400 рублей (Двести пятьдесят одна тысяча четыреста) рублей</i>
Рыночная стоимость, полученная доходным подходом	Не использовался
Итоговая величина рыночного размера арендной платы объекта оценки:	
<i>Рыночная стоимость земельного участка. Расположенного по адресу: Иркутская область, Черемховский район, г. Свирск, ул. Матросова, 5, кадастровый № 38:33:020105:7, составляет (округленно):</i> <i>251 400 рублей (Двести пятьдесят одна тысяча четыреста рублей)</i>	

Приложение 6 – Содержание кадмия в овощных культурах и картофеле, мг/кг
(среднее за 2012-2013 гг.)

Место возделывания	Культуры							ПДК	
	картофель		свекла	капуста	морковь	огурец	томат	для взрослых	для детского питания
	красные клубни	белые клубни							
г. Свирск	0,08	0,07	0,14	0,10	0,12	0,09	0,22	0,03	0,01
Ошибка средне- арифметическая (±)	0,0032	0,0024	0,0098	0,005	0,0072	0,00405	0,0242		
г. Иркутск	0,10	0,08	0,11	0,10	0,15	0,14	0,18		
Ошибка средне- арифметическая (±)	0,005	0,0032	0,00605	0,005	0,0112	0,0098	0,0162		

Приложение 7 – Содержание кадмия в зеленных овощных культурах, мг/кг

Место возделывания	Культуры					ПДК	
	лук	чеснок	укроп	салат	горох	для взрослых	для детского питания
г. Свирск	0,11	0,09	0,14	0,16	0,12	0,03	0,01
Ошибка средне- арифметическая (±)	0,0060	0,004	0,0098	0,0128	0,0072		
г. Иркутск	-	0,09	0,16	0,13	0,09		
Ошибка средне- арифметическая (±)	-	0,0045	0,0128	0,0084	0,0040		

Приложение 8 – Содержание кадмия в зеленой массе кормовых культур, мг/кг

Место возделывания	Культура				ПДК	
	люцерна посевная	кострец безостый	пырей ползучий	овес (зел. масса)	для взрослых	для детского питания
г. Свирск	0,13	0,18	0,15	0,13	0,03	0,01
Ошибка средне- арифметическая (±)	0,0084	0,0162	0,00125	0,0054		
г. Иркутск	0,09	0,05	0,09	0,07		
Ошибка средне- арифметическая (±)	0,004	0,0012	0,0040	0,0024		

Приложение 9 – Содержание кадмия в плодово-ягодных культурах, мг/кг

Место возделывания	Культуры		ПДК	
	смородина	вишня	для взрослых	для детского питания
г. Свирск	0,09	0,04	0,03	0,01
Ошибка средне- арифметическая (±)	0,00405	0,0008		

Приложение 10 – Содержание свинца в овощных культурах и картофеле, мг/кг
(среднее за 2012-2013 гг.)

Место возделывания	Культуры							ПДК	
	картофель		свекла	капуста	морковь	огурец	томат	для взрослых	для детского питания
	красные клубни	белые клубни							
г. Свирск	1,00	0,5	3,06	0,13	0,95	1,07	0,74	0,5	0,1
Ошибка средне- арифметическая (±)	0,18	0,125	0,412	0,00845	0,145	0,157	0,2738		
г. Иркутск	0,75	0,5	0,90	0,13	0,23	0,25	0,58		
Ошибка средне- арифметическая (±)	0,15	0,127	0,19	0,00845	0,026	0,031	0,1682		

Приложение 11 – Содержание свинца в зеленных овощных культурах, мг/кг

Место возделывания	Культуры					ПДК	
	лук	чеснок	укроп	салат	горох	для взрослых	для детского питания
г. Свирск	1,25	0,25	1,00	1,00	1,75	0,5	0,1
Ошибка средне- арифметическая (±)	0,0178	0,032	0,50	0,15	0,312		
г. Иркутск	-	0,50	1,07	0,25	0,25		
Ошибка средне- арифметическая (±)	-	0,126	0,57	0,029	0,0031		

Приложение 12 – Содержание свинца в зеленой массе кормовых культур, мг/кг

Место возделывания	Культура							ПДК	
	горец расто- топыр.	свербига восточ- ная	эспарцет песча- ный	люцерна посевная	кострец безостый	пырей ползучий	овес (зел. масса)	для взрослых	для детского питания
г. Свирск	0,24	0,27	0,19	1,70	1,40	0,58	0,48	0,5	0,1
Ошибка средне- арифметическая (±)				0,21	0,414	0,168	0,152		
г. Иркутск	0,22	0,19	0,21	0,80	0,13	0,25	0,10		
Ошибка средне- арифметическая (±)				0,32	0,00845	0,041	0,005		

Приложение 13 – Содержание свинца в плодово-ягодных культурах, мг/кг

Место возделывания	Культуры		ПДК	
	смородина	вишня	для взрослых	для детского питания
г. Свирск	0,75	0,42	0,5	0,1
Ошибка средне- арифметическая (±)	0,28	0,088		

Приложение 14 – Содержание мышьяка в овощных культурах и картофеле, мг/кг
(среднее за 2012-2013 гг.)

Место возделывания	Культуры							ПДК	
	картофель		свекла	капуста	морковь	огурец	томат	для взрослых	для детского питания
	красные клубни	белые клубни							
г. Свирск	1,30	1,27	4,13	0,83	1,94	3,11	1,14	0,2	не допускается
Ошибка средне-арифметическая (±)	0,845	0,806	0,52	0,26	0,88	0,423			
г. Иркутск	0,10	0,14	0,12	0,16	0,27	0,42	0,48		
Ошибка средне-арифметическая (±)	0,008	0,0098	0,0072	0,02	0,036	0,08			

Приложение 15 – Содержание мышьяка в зеленных овощных культурах, мг/кг

Место возделывания	Культуры					ПДК	
	лук	чеснок	укроп	салат	горох	для взрослых	для детского питания
г. Свирск	2,72	1,37	0,45	2,20	2,79	0,2	не допускается
Ошибка средне-арифметическая (±)	0,69	0,93	0,12	0,92	0,89		
г. Иркутск	0,20	0,08	0,54	0,33	0,05		
Ошибка средне-арифметическая (±)	0,02	0,032	0,14	0,05	0,00125		

Приложение 16 – Содержание мышьяка в зеленой массе кормовых культур, мг/кг

Место возделывания	Культура							ПДК	
	горец растопыр.	свербига восточная	эспарцет песчаный	люцерна посевная	кострец безостый	пырей ползучий	овес (зел. масса)	для взрослых	для детского питания
г. Свирск	1,35	1,32	1,07	1,13	0,43	0,96	0,20	0,2	не допускается
Ошибка средне-арифметическая (±)				0,63	0,092	0,46	0,02		
г. Иркутск	0,14	0,15	0,039	0,17	0,092	0,46	0,02		
Ошибка средне-арифметическая (±)				0,014	0,0008	0,014	0,00125		

Приложение 17 – Содержание мышьяка в плодово-ягодных культурах, мг/кг

Место возделывания	Культуры		ПДК	
	смородина	вишня	для взрослых	для детского питания
г. Свирск	0,27	0,65	0,2	не допускается
Ошибка средне-арифметическая (±)	0,036	0,21		