

МИНИСТЕРСТВО СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА РФ  
ФГБОУ ВПО «ИРКУТСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ»  
АГРОНОМИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ

*На правах рукописи*

СОСНИЦКАЯ Татьяна Николаевна

**ЭКОЛОГИЧЕСКОЕ СОСТОЯНИЕ ПОЧВ Г. СВИРСКА  
ИРКУТСКОЙ ОБЛАСТИ: ОСОБЕННОСТИ НАКОПЛЕНИЯ И  
ДЕТОКСИКАЦИИ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ**

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 – 2014

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
<b>1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ</b>	
1.1. Токсические свойства тяжелых металлов и мышьяка.....	8
1.2. Протекторные свойства почв по отношению к тяжелым металлам и мышьяку.....	15
1.3. Реакция растений на степень загрязнения почв тяжелыми металлами и мышьяком.....	21
1.4. Устойчивость и степень поглощения тяжелых металлов и мышьяка растениями: растения – толеранты и растения – «аккумуляторы».....	24
1.5. Особенности загрязнения природной среды и мероприятия по устранению экологической катастрофы в МО г. Свирск.....	37
<b>2. АБИОТИЧЕСКИЕ И ЭДАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	
2.1. Абиотические условия.....	51
2.2. Эдафические условия.....	55
<b>3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	
3.1. Объекты исследований .....	58
3.2. Методы отбора почвенных и растительных образцов .....	61
3.3. Методы исследований .....	61
3.4. Методика оценки степени опасности загрязнения почвы для здоровья населения и миграционной способности токсикантов в системе почва-растения.....	62
<b>4. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И МЫШЬЯКОМ В МО Г. СВИРСК И ПРИЕМЫ ИХ ДЕТОКСИКАЦИИ</b>	
4.1. Оценка загрязнения почвенного покрова МО г. Свирск	

тяжелыми металлами и мышьяком и состояния здоровья населения.....	64
4.2. Степень детоксикации загрязненных почв в результате их освоения и окультуривания .....	71
4.3. Изменение содержания тяжелых металлов и мышьяка в почве и растениях в результате систематического применения органических удобрений.....	78
4.4. Особенности накопления тяжелых металлов и мышьяка различными видами растений.....	82
<b>5. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ</b>	
5.1. Экономическая эффективность.....	97
5.2. Энергетическая эффективность.....	99
<b>ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ.....</b>	<b>101</b>
<b>СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ.....</b>	<b>104</b>
<b>СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....</b>	<b>105</b>
Приложение 1 – Принципиальная схема оценки почв сельскохозяйственного использования, загрязненных химическими веществами.....	126
Приложение 2 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве и допустимые уровни их содержания по показателям вредности.....	127
Приложение 3 – Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю ( $Z_c$ ).....	127
Приложение 4 – Технологическая карта возделывания картофеля (валовой сбор 1200 т.).....	128
Приложение 5 – Технологическая карта возделывания картофеля (валовой сбор 2000 т.).....	129

## ВВЕДЕНИЕ

### **Актуальность исследований.**

Почвенный покров Муниципального Образования (МО) г. Свирск Иркутской области подвержен мышьяковому и свинцовому загрязнению. Загрязнение мышьяком явилось следствием деятельности Ангарского металлургического завода (АМЗ) в г. Свирске, производящего мышьяк для нужд оборонной промышленности СССР в 1934-1949 годах (Баранова, 2007; Пшонко, 2009), а свинцовое загрязнение – следствием работы аккумуляторного завода действующего с 1941 года по настоящее время.

В последние годы (2011-2013 гг.) очень большое внимание уделяется проблемам ликвидации очага загрязнения, определению границ и степени загрязнения ОПС МО г. Свирск мышьяком. После выделения финансовых средств из федерального бюджета в 2013 году за пределы г. Свирска были вывезены разрушенные цеха, отходы производства АМЗ и зараженная почва. Несмотря на ликвидацию очага загрязнения, необходимость детоксикации почвенного покрова зараженной территории актуальна. Однако технологические решения проблемы детоксикации ТМ и мышьяка и производства экологически безопасной продукции пока не разработаны.

На землепользовании МО г. Свирск созданы и функционируют 9 садово-огородных кооперативов, где жители города для собственных нужд выращивают плодоовощную продукцию и картофель, которые в разной степени загрязнены ТМ и мышьяком.

Для детоксикации почв в настоящее время рекомендуются разнообразные физические, химические и биологические приемы. В связи со спецификой загрязнения ОПС МО г. Свирск, проблема детоксикации почв и производства экологически безопасной продукции требует комплексного решения, включающего мониторинг степени загрязнения почв и растений, фрезерную обработку почвы при их освоении и окультуривании, внесение

компостированных органических удобрений, фитоэкстракцию ТМ и мышьяка за счет возделывания специальных растений-фитоаккумуляторов и выращивание растений-толерантов, которые в условиях загрязнения обеспечивают получение экологически безопасной продукции. Однако эти технологические решения в условиях региона остаются слабо изученными.

### **Цель.**

Снижение уровня загрязнения почвенного и растительного покрова МО г. Свирск и получение экологически безопасной продукции растениеводства.

### **Задачи:**

1. Оценить уровень загрязнения почвенного и растительного покрова МО г. Свирск и состояние здоровья населения;
2. Изучить степень детоксикации почв в результате их освоения и окультуривания;
3. Дать оценку влияния длительного применения органических удобрений на снижение степени загрязнения почв;
4. Произвести оценку толерантности и кумулятивности сельскохозяйственных растений на загрязненных мышьяком и свинцом почвах;
5. Рассчитать эколого-экономическую эффективность применения органических удобрений как приема снижения уровня загрязнения сельскохозяйственных растений.

### **Научная новизна.**

Впервые в условиях региона проведено комплексное изучение уровня загрязнения почвенного и растительного покрова и дана оценка состояния здоровья населения МО г. Свирск. Изучен комплекс мероприятий по детоксикации ТМ и мышьяка и производства экологически безопасной продукции растениеводства в результате их освоения и окультуривания, длительного применения органических удобрений. Изучена экологическая эффективность растений – фиторемедиантов и разработаны технологии фитоэкстракции техногенно загрязненных мышьяком почв. В условиях техногенного загрязнения с

целью получения экологически безопасной продукции произведена оценка толерантности (устойчивости) растений.

### **Практическая значимость.**

Предложена технология детоксикации почвенного покрова за счет систематического применения органических удобрений и снижения загрязнения почв в результате их освоения и интенсивной обработки, определены сельскохозяйственные растения, отличающиеся толерантностью (устойчивостью) к загрязнению среды МО г. Свирск мышьяком и свинцом, - выявлены растения, обладающие кумулятивными свойствами, рекомендуемые для фитоэкстракции – приема постепенного извлечения, отчуждения и очистки почв от загрязнителей.

Материалы исследований могут быть использованы для разработки технологий по получению экологически безопасной продукции.

### **Защищаемые положения:**

1. Оценка уровня загрязнения почвенного и растительного покрова МО г. Свирск мышьяком и свинцом и состояние здоровья населения.
2. Детоксикация загрязненного почвенного покрова и получение экологически безопасной продукции растениеводства достигается при окультуривании почв, внесении органических удобрений, фитоэкстракции и использовании потенциала толерантных растений.

### **Апробация.**

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).

### **Публикации.**

По результатам исследований опубликовано 8 печатных работ.

### **Личный вклад.**

Автор принимала непосредственное участие в разработке программы и методики исследований, проведении полевых и лабораторных исследований, обработки результатов исследований и подготовки диссертации к защите.

Автор выражает благодарность научному руководителю – д.с.-х.н., профессору Ш.К. Хуснидинову за всестороннюю помощь и поддержку в проведении диссертационного исследования и консультации при работе над диссертацией, а также директору ФГБУ «ЦАС «Иркутский» М.В. Бутырину за содействие в проведении лабораторных исследований.

# 1. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

## 1.1. Токсические свойства тяжелых металлов и мышьяка

ТМ – группа химических элементов, имеющих плотность  $5 \text{ г/см}^3$ . Этот термин заимствован из технической литературы, в которой металлы классифицируются на легкие и тяжелые. Для биологической классификации правильнее руководствоваться атомной массой, то есть считать тяжелыми металлы с атомной массой более 40 (Большаков, 2002). Класс опасности химического элемента определяется канцерогенностью соединений элемента, прямо пропорционален атомной массе элемента и растворимости в воде его неустойчивых соединений и обратно пропорционален предельно допустимой концентрации (ПДК) элемента в почве. К высоко опасным относятся As, Cd, Hg, Se, Pb и Zn, умеренно опасным – Co, Ni, Mo, Cu, Cr и Sb, малоопасным – Ba, V, W, Mn и Sr (Водяницкий, 2009).

Есть жизненно необходимые металлы для организмов. Например, цинк, железо, марганец, медь и др. Они присутствуют в теле животных и растений в ничтожно малых количествах и необходимы им в биохимических процессах (Глобальные ..., 2001). Они выполняют в тканях весьма ответственную роль катализаторов жизненно важных процессов. Когда же ТМ поступают в организм в избыточном количестве в качестве техногенных загрязнителей внешней среды, они могут накапливаться и вызывать токсические эффекты (Трахтенберг, 1994).

ТМ делятся на две группы – «токсические» и микроэлементы, используемые в малых количествах в сельском хозяйстве (Варламов, 2000).

Таким образом, понятие «тяжелые металлы» во многом совпадает с понятием «микроэлементы». Но для повышенной концентрации этих элементов термин «микроэлементы» не пригоден, в таких случаях применяют термин «тяжелые металлы» (Ильин 1982; Большаков, 2002).

Токсическими называют металлы, которые не являются ни жизненно необходимыми, ни благотворными и даже в малых дозах приводят к нарушению нормальных метаболических функций (Николаева, 2009).

Металлы вообще и в особенности ТМ, крайне токсичны для клеток. Среди этой категории свинец, мышьяк, ртуть принадлежат к числу давно известных ядов (Бузмаков, 2005).

В рекомендациях ЮНЕП наиболее опасными тяжелыми элементами считаются Cd и As.

Особо токсичные ТМ (Hg, Cd, Pb, As, Sr, Cu, Zn, Fe) включены в перечень веществ, подлежащих контролю при международной торговле пищевыми продуктами (Вяйзенен, 2011).

Рост концентрации ТМ в окружающей среде (ОС) способствует увеличению их содержания во всех компонентах экосистем (Халитов, 2004).

Поступление ТМ в ОС оказывает негативное воздействие на почвы и растения и представляет угрозу для здоровья человека (Воробьев, 2006).

Организм реагирует на поступления ТМ аккумуляцией высоких концентраций загрязнителя и изменениями в процессах метаболизма (Ковальчук, 2002). Избыточное поступление ТМ в живые организмы нарушает процессы метаболизма, тормозит рост и развитие (Лозановская, 1998).

Вопросы, связанные с уровнем загрязнения ТМ природной среды в районах расположения крупных промышленных предприятий и городов, давно находятся в центре внимания исследователей (Кузнецова, 2009).

Токсическое действие ТМ может быть прямым и косвенным. При прямом воздействии у организмов блокируются ферменты. К косвенному воздействию относится перевод биогенных элементов в недоступное состояние (Груздева, 2010).

ТМ всасываются в желудочно-кишечном тракте (ЖКТ), встраиваются в ферментные системы, физиологические процессы вместо жизненно необходимых макро и микроэлементов (особенно активно при их недостатке), приводя к

нарушению деятельности соответствующих физиологических систем (Минина, 2000).

Молекулярными мишенями, то есть объектами атаки ионов тяжелых металлов, служат:

- гемсодержащие белки и ферменты;
- системы перекисного и свободнорадикального окисления липидов и белков, а также системы антиоксидантной и антипероксидантной защиты;
- ферменты транспорта электронов и синтеза АТФ (аденозинтрифосфорной кислоты);
- белки клеточных мембран и ионные каналы мембран (Ложнеченко, 2008).

Ряд ТМ обладает кумулятивным эффектом и канцерогенным действием. К их числу относятся свинец, кадмий и др. (Коваленко, 1997).

Мышьяк – полуметалл. В природной среде он может встречаться в четырех типичных степенях окисления  $As^{3-}$ ,  $As^0$ ,  $As^{3+}$ ,  $As^{5-}$ . Наиболее часто в природной среде встречается пятивалентный мышьяк в виде аниона  $H_2AsO_4$  и трехвалентный как соединение  $H_3AsO_3$ , которые преобладают в редуционных условиях с низким Ph.

Являясь элементом переменной валентности и находясь в периодической системе на границе металл-неметалл, мышьяк обнаруживает свойства, характерные как для металлов, так и для неметаллов. Поэтому биогеохимические характеристики мышьяка весьма различны в биологических процессах и экологических системах (Зверев, 2001).

Мышьяк – высокотоксичный элемент, содержащийся во всех объектах окружающей среды. В естественных условиях мышьяк поступает в окружающую среду при извержении вулканов и ветровой эрозии почв. Существенную роль в загрязнении мышьяком объектов окружающей среды играют: добыча и переработка руд и минералов; пирометаллургия и производство серной кислоты; синтез и использование мышьяксодержащих пестицидов, антисептиков и реагентов.

Содержание мышьяка в почвах фоновых районов составляет 0,3-12,9 мг/кг. В почве он аккумулируется в пахотном слое, мигрируя на глубину 60 см (Черников, 2009).

Более высокое содержание мышьяка характерно для черноземов и серых лесных почв, низкие – преобладают в почвах тундры и подзолистых. Для всех почв, кроме тундровых, проявляется тенденция к увеличению содержания мышьяка в верхних горизонтах почв, что указывает на поступление мышьяка с растительными остатками. Среднее содержание мышьяка в почвах мира составляет 5 мг/кг.

Находящиеся в почве соединения мышьяка легко растворимы, особенно в кислой среде. Все растворимые соединения мышьяка сильно токсичны (Нейтрализация загрязненных почв, 2008).

Пятивалентный мышьяк менее ядовит, чем трехвалентный, так как он в 4-10 раз менее растворим (Черников, 2009).

Мышьяк (тиоловый яд) взаимодействует с тиоловыми группами белков: цистеином, глутатионом, липоевой кислотой, нарушая обмен серы, селена, фосфора.

Мышьяк накапливается в печени, почках, селезенке, легких, стенке 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 и иногда кровохаркание. При более тяжелых отравлениях к этим симптомам добавляются желудочно-кишечные расстройства: сладковатый вкус во рту, тошнота, рвота, боли в животе (Илларионова, 2010).

Токсические свойства мышьяка обуславливаются как общим, так и местным действием. Общее действие мышьяка на организм связано с вызываемым им нарушением окислительных процессов в тканях из-за блокады сульфидных групп

ферментных систем. Местно – вызывая раздражение и воспаление тканей, а в дальнейшем – некроз.

Как местное, так и общее действие мышьяка связано с влиянием на капилляры. Капилляры становятся более проницаемыми, результатом чего могут быть различные последствия, вплоть до полного тканевого распада. Мышьяк считается канцерогенным элементом (Бузмаков, 2005).

Мышьяк может вызвать как острые, так и хронические отравления. Хронические отравления мышьяком, проявляются в прогрессирующем похудании, острых болях в конечностях, нарушении памяти, речи, развитии психозов, нарушении кожной чувствительности, развитии дерматитов, поражении печени (Каплин, 2007).

Острое отравление приводит к нарушению центральной нервной системы (ЦНС), выражается в общей слабости, болезненных судорогах различных мышечных групп, потери сознания и параличах жизненно важных центров продолговатого мозга. Смерть может наступить через несколько часов, самое позднее через день без проявления желудочно-кишечных расстройств.

Токсическая доза (ТД) мышьяка для человека 5-50 мг, летальная доза (ЛД) 50-340 мг. (Илларионова, 2010).

Среднестатистический человек носит в себе 14-21 мг мышьяка на одном уровне с I, Sn, Cd, Mn. В отличие от других микроэлементов мышьяк достаточно быстро выводится из организма.

В 1970-х годах сложилось представление о мышьяке как о жизненно важном элементе. Физиологический уровень мышьяка составляет 0-2 мкг/г., пороговый – 3 мкг/г, показатель острого или хронического воздействия – 12 мкг/г. В животных организмах мышьяк служит регулятором деятельности ферментов (энзимов) в процессе метаболизма аргинина – незаменимой аминокислоты, присутствующей в организме в свободном виде и в составе белков. Аргинин участвует в синтезе мочевины и других процессах азотистого обмена.

Многие признаки дефицита мышьяка сходны с проявлением цинковой недостаточности – это депрессия роста, угнетение синтеза мочевой кислоты. В

малых дозах мышьяк положительно влияет на кровеобразовательную функцию, способствуя увеличению количества гемоглобина, эритроцитов, лейкоцитов, улучшает обмен веществ, увеличивает скорость роста тканей, способствует чистоте кожи и росту волос, толщине костей (Зверев, 2001).

Свинец – серый мягкий металл (Явербаум, 2006).

Отравление свинцом – представляет пример наиболее частого заболевания, обусловленного воздействием ОС. В большинстве случаев речь идет о поглощении малых доз и накоплении их в организме, пока его концентрация не достигнет критического уровня необходимого для токсического проявления.

При поступлении с пищей и водой свинец распределяется в организме животных и человека по скелетному типу. Наиболее высокая концентрация свинца наблюдается в зубах. Если свинец поступает в организм через дыхательные пути, то он быстро достигает кровотока и тогда его действие максимально. Свинец ингибирует действие многих ферментов, а также инкорпорацию железа.

Токсическое действие свинца во многом обусловлено его способностью образовывать комплексы с лигандами, содержащими сульфгидрильные и карбоксильные группы.

Свинец вызывает как острое, так и хроническое отравление.

Острое отравление свинцом возникает при попадании значительных его доз через желудочно-кишечный тракт. Оно выражается в наступлении приблизительно через час сладковатого вкуса во рту, слюнотечении, тошноте, рвоте, судорожных болях в желудке.

Симптомы хронического отравления весьма разнообразны в зависимости от количества, поступившего в организм свинца и индивидуальных особенностей организма.

Ранними (хотя и не постоянными) симптомами отравления считаются обычно: свинцовая кайма, определенные изменения крови, появление гемопорфирина в моче. Свинцовая кайма образуется вследствие отложения в деснах свинца. Она представляет собой узкую полоску по краю десен у передних

зубов. Встречается также желтоватый или коричнево-желтоватый налет на зубах, лиловато-серая окраска и пятна на слизистой щек и на губах.

Наиболее резко выраженным и тяжелым симптомом является свинцовая колика. Она развивается обычно внезапно и бурно. Появляются сильные схваткообразные боли в животе или правом подреберье. Плохой аппетит, нередко рвоты, выделение вязкой слюны. Пульс замедляется до 50-40 ударов в минуту, повышается кровяное давление, присутствуют головные боли, бессонница, подавленность, мышечные боли.

Органами-мишенями при свинцовом отравлении являются кроветворная и нервная системы и почки. Меньший ущерб наносится ЖКТ. На уровне кроветворной системы проявляется анемия. На уровне нервной системы – поражение головного мозга и периферических нервов. В головном мозге выражен отек серого и белого вещества. Мозговые поражения сопровождаются конвульсиями и бредом. Из периферийных нервов поражаются нервы мышц. Тяжелее всего страдают нервы – разгибатели кисти, которая приобретает вид «рогов оленя». Признаки, свидетельствующие о почечных нарушениях, обычно проявляются в дисфункции.

ТД свинца для человека 1 мг, ЛД -10 г (Илларионова, 2010).

Данные о биологической роли свинца полностью отсутствуют. Однако, в литературе встречаются работы, освещающие ряд моментов, которые можно трактовать как определенное положительное действие свинца на процессы жизнедеятельности. Например, при дефиците свинца наблюдалась задержка роста крыс. В последнее время появились данные, что при недостаточном содержании свинца в диете у подопытных животных, отмечается не только отставание в росте, но и в развитии (Явербаум, 2006).

## **1.2. Протекторные свойства почв по отношению к тяжелым металлам и мышьяку**

Антропогенная деградация почв - одна из основных экологических проблем настоящего времени: уменьшение основных показателей плодородия, накопление экотоксикантов, снижение устойчивости и продуктивности (Шпис, 2008).

Почве принадлежит ведущая роль в функционировании биосферы. Пока почва устойчива, экологическая безопасность обеспечена. Утрата или необратимая деградация почвенного покрова может рассматриваться как гибель экосистемы (Намсараева, 2010).

Кроме того, по отношению непосредственно к человеку почва выполняет еще одну функцию – сельскохозяйственную (Колесников, 2002). Используя почвенные ресурсы человек, получает приблизительно 90 % продуктов питания, и чистота этих продуктов определяется свойствами почвы (Черников, 2000). Почва является незаменимым исчерпаемым относительно возобновляемым природным ресурсом. Для сохранения ее способности к восстановлению необходимы определенные условия, нарушение которых замедляет или вовсе прекращает процесс восстановления. К сожалению, правила рационального использования и охраны почвенных ресурсов соблюдаются далеко не всегда. Одним из деградационных процессов, в результате, которого почва теряет свое плодородие, является загрязнение ТМ (Колесников, 2002).

Почва аккумулирует ТМ интенсивнее, чем атмосфера и природные воды (Иванова, 2009). Аккумуляция токсических веществ почвой происходит в течение всего года: весной - при таянии снега, накопившего промышленные токсиканты в зимний период, летом – из атмосферы в виде газов, аэрозолей, дождей и туманов. Осенью основной поток поллютантов идет за счет опада травянистых растений, листвы растений, кустарников, хвои, содержащих загрязняющие вещества (ЗВ). В первую очередь подвергаются воздействию ЗВ верхние корнеобитаемые горизонты почвы (Шебалова, 2006). Элементы – токсиканты концентрируются в

верхнем самом плодородном слое почвы (0-10 см) (Иванова, 2009; Первунина, 1989; Черных, 2003). Однако после интенсивного накопления ТМ в верхних слоях почв, наступает период их миграции вниз по почвенному профилю. Этот процесс представляет большую опасность в связи с тем, что загрязнители становятся доступными растениям во всем корнеобитаемом слое (Большаков, 2002).

Вымыванию ТМ в нижние слои почвы способствует обилие осадков и низкое содержание гумуса в почве (Вяйзенен, 2004).

Господствующие ветры осуществляют перенос веществ из промышленных регионов и способствуют накоплению ТМ в почвах и осадочных отложениях в течение десятилетий. После того как настает насыщение или в силу, каких либо других причин, почвы перестают аккумулировать ЗВ и некоторые из них начинают циркулировать в экосистеме (Кузнецова, 2009).

Загрязнение металлами может оказывать как прямое токсикологическое биохимическое действие, так и вести к деградации почв и ухудшению педохимических показателей. Однократное загрязнение почв относительно невысокими дозами металлов (2-3 предельно допустимые концентрации (ПДК)) спустя два года приводило к частичной мобилизации гумуса, проявившейся в увеличении относительно содержания подвижных органоминеральных соединений и повышению доли фульвокислот в составе гумуса. Об экологической опасности этого явления свидетельствует то, что отмечено оно в черноземе, гумус которого можно считать относительно устойчивой системой (Минкина, 2006).

Содержание подвижных соединений ТМ в почве является одним из важнейших показателей, влияющих на интенсивность водной миграции ТМ и их доступность растениям и, таким образом, характеризует потенциальную опасность накопления ТМ в почвах (Анисимова, 2000).

ТМ легко накапливаются в почве, но с большим трудом и крайне медленно выводятся из нее. Они являются экотоксикантами – веществами, представляющими опасность для биоты (включая человека) и вызывающими нежелательные изменения и нарушения в организме (Капитанова, 2000).

В отличие от органических соединений ТМ могут накапливаться в почве до значительного уровня, поскольку не разрушаются в ней, а лишь переходят из одного состояния в другое (Дзагуров, 2010).

Почвенный покров в круговороте веществ в биосфере принимает на себя действие промышленных выбросов и отходов, остаточных количеств пестицидов и других токсикантов, выполняя важную роль буфера и детоксиканта. ТМ, ядохимикаты и другие соединения могут быть в почве минерализованы, трансформированы в вещества, не оказывающие токсического действия на живые организмы (Гришина, 1990).

Вещества, поступающие в почву тем или иным путем, могут подвергаться физическому, физико-химическому и биологическому поглощению. В результате этого часть веществ закрепляется в почве, переходя в труднорастворимую форму, а часть вступает в биологический круговорот и частично выносятся из экосистем с урожаем (Груздева, 2010).

Способность почвы агроландшафтов к самоочищению зависит от биологической активности почвенных бактерий, микоризных грибов, водорослей и пр. При этом низкие концентрации ТМ иногда стимулируют биологическую активность почв, а высокие подавляют (Груздева, 2010).

Повышенное содержание мышьяка в почве может оказаться вредным для находящихся в ней микроорганизмов, несмотря на то, что в данной среде часто вырабатывается стойкость к избытку мышьяка, особенно у бактерий (Нейтрализация загрязненных почв, 2008).

Очевидно, что ущерб, нанесенный загрязнением, будет в большей степени зависеть от свойств почвы, главным образом от тех из них, которые влияют на подвижность ТМ и, как следствие, на их доступность растениям и на способность к миграции (Сергеева, 2000).

Содержание ТМ в грубых песчаных почвах гораздо ниже, чем в суглинках и глинах (Макарова, 2008). То есть особую роль в адсорбции ТМ играет илистая фракция почвы, представленная в основном глинистыми минералами

(Садовникова, 1993). Глинистые почвы могут в значительной степени ограничить доступность мышьяка для растений (Нейтрализация загрязненных почв, 2008).

Тяжелые металлы прочно удерживаются минеральными и органическими веществами почвы, что резко снижает доступность их растениям и общий уровень токсичности.

Известна в этом отношении экологическая роль органического вещества. В условиях техногенеза экологическая роль органического вещества почвы, проявляется как санитарно-гигиеническая, как поглотителя и растворителя многих токсинов: пестицидов, ТМ, оксидов, радионуклидов и других соединений в токсических концентрациях (Гришина, 1990).

Органическое вещество оказывает большое влияние на физико-химические свойства почвы, а также на мобильность мышьяка. Органические и органо-минеральные коллоиды характеризуются большой сорбционной емкостью, чем минеральные коллоиды. Органическое вещество как компонент хелатовых и других соединений обладает способностью прочного соединения микроэлементов, уменьшая при этом их поглощение растениями. Таким образом, оно способствует детоксикации (Нейтрализация загрязненных почв, 2008).

Однако действие двух главных гумусовых кислот – фульвовых и гуминовых, обладающих неодинаковой растворимостью, существенно различается. Ионы металлов, сорбированные на поверхности почвенных частиц, могут образовывать комплексные соединения с фульвокислотами и в этой форме переходить в раствор. Водонерастворимые гуминовые кислоты еще более активно соединяются с ТМ и выводят их из раствора в твердую форму почв (Добровольский, 2004).

Высокая кислотность почвы увеличивает подвижность металлов, а значит и их накопление в растениях (Макарова, 2008).

Важнейшим фактором, играющим роль в процессе подвижности микроэлементов в почве, в том числе мышьяка, является реакция почвенного раствора. Так понижение рН почвы, как минимум до нейтральной реакции, влечет за собой повышение их катионообменной емкости. Известкование, вызывая

снижение кислотности почвы, влияет на понижение подвижности мышьяка в данной среде, а значит на уменьшение поглощения мышьяка растениями.

Повышение кислотности почвы приводит к уменьшению адсорбированного мышьяка и, тем самым, к увеличению его концентрации в почвенном растворе. Последствием этого процесса является более высокая способность мышьяка ассимилироваться растениями, а также перемещаться в более глубоко расположенные слои почвы (Нейтрализация загрязненных почв, 2008).

Минеральные удобрения, изменяя агрохимические свойства почвы, также способны влиять на подвижность токсикантов и их поступление в растения (Овчаренко, 1995).

Значительной способностью связывания соединений ТМ обладают фосфорные удобрения. Фосфаты свинца и др. представляют собой труднорастворимые соединения, малодоступные для растений (Минеев, 1988). Присутствие минеральных фосфатов ослабляет вредное воздействие свинца на растения (Большаков, 1978).

Можно сделать вывод, что на загрязненных ТМ почвах хорошее мелиорирующее действие оказывают известкование кислых почв и применение полуперепревшего навоза, способствующие переводу соединений ТМ в почве в малодоступные для растений формы и, тем самым, снижающие загрязнение сельскохозяйственной продукции токсичными элементами (Сокаев, 2004).

В условиях нейтральной и слабощелочной реакции почв и почвенного раствора, при значительном содержании гумуса, тяжелом гранулометрическом составе ТМ находятся в малоподвижной форме и накапливаются в почвах (Овчаренко, 1997).

Таким образом, почва как природное тело обладает определенной способностью к самоочищению: поступающие в нее материалы антропогенного происхождения с течением времени разрушаются и разлагаются. При небольшом загрязнении ТМ почва способна переводить их в малотоксичную форму, делая тем самым безопасным существование почвенной биоты и возделывание сельскохозяйственных культур (Ильин, 1991).

Несмотря на протекторные свойства почвы, существуют пределы и уровни техногенного воздействия на ОС, превышение которых приводит к необратимым последствиям (Орлов, 2002).

Природные процессы самоочищения почв, загрязненных ТМ, очень длительны и возможны только до определенного уровня содержания металлов в почве (Важенин, 1982).

При увеличении техногенного загрязнения снижается самоочищающая способность почв за счет изменения структуры микробного ценоза. При этом появляются виды и группы организмов, продуцирующие токсические вещества, то есть почва сама становится источником ядов. В этом случае получение экологически чистой продукции становится проблематичным (Кривошеин, 2000).

В экстремальных случаях техногенное воздействие вызывает такое глубокое изменение свойств почвы, что рекультивация возможна только в случае создания нового почвенного слоя. Это наиболее радикальная мера борьбы с загрязнением почв – удаление поверхностного загрязненного слоя, покрытие его незагрязненным мощным слоем, исключая перемещение металлов из почвы в растения. Такой способ является весьма дорогостоящим и его следует применять при содержании ТМ в почвах, превышающих установленные нормативы ПДК в 100 и более раз.

При рекультивации легких почв, загрязненных ТМ, в качестве эффективного приема иногда используют глинование – внесение глин, содержащих алюмосиликаты типа монтмориллонита. Этот прием, к сожалению, требует существенных затрат и технологически трудно выполним.

В последние годы более распространено использование природных сорбентов, таких, как цеолиты (например, клиноптиллолит), местонахождения которого имеются на территории СНГ.

Возможен другой путь снижения фитотоксичности ТМ с помощью ионообменных смол, содержащих карбоновые и гидроксильные группы, которые вносят в загрязненную почву в виде гранул или порошка.

Существенного уменьшения фитотоксичности можно добиться таким эффективным приемом восстановления почв, как химическое осаждение. При химическом осаждении происходит образование труднорастворимых солей, например ортофосфорной или угольной кислот, с катионами ТМ.

Кроме физических и химических приемов по восстановлению загрязненных ТМ почв, применяют агротехнические приемы (Орлов, 2002).

Таким образом, при загрязнении почв ТМ эффективными способами их восстановления являются: известкование, внесение органического вещества (навоз, торф, компосты), химическое осаждение. Известкование снижает подвижность ТМ, способствует их закреплению в малоподвижной, недоступной растениям форме. Органическое вещество выступает как хороший сорбент катионов, повышает буферность почвы и способствует снижению токсического действия ТМ. При химическом осаждении происходит образование труднодоступных солей, например ортофосфорной или угольной кислот с катионами ТМ (Амосова, 1989).

В условиях комплексного антропогенного воздействия на ОС важную роль приобретает всесторонняя оценка эколого-токсикологического состояния природных объектов. 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).

### **1.3. Реакция растений на степень загрязнения почв тяжелыми металлами и мышьяком**

Среди живых организмов первичными аккумуляторами ТМ являются растения, поэтому необходимо иметь объективное представление о нормальных (фоновых) концентрациях данных элементов для наиболее распространенных

представителей растительного мира и, прежде всего для тех, которые составляют основу пищевой и кормовой базы (Прохорова, 2004).

Фоновый уровень мышьяка в продуктах питания, произведенных в районах с нормальными геохимическими условиями составляет: во фруктах 0,01- 0,2 мг/кг; в зерновых 0,006-1,2 мг/кг; в говядине, свинине 0,005-0,01 мг/кг; в печени 1-2 мг/кг; в лещах 0,003-0,03; в коровьем молоке 0,005-0,01 мг/кг; в твороге 0,003-0,03 мг/кг.

Главным источником элементов в растениях являются почвы (Садовникова, 1993). Большое значение при поступлении ТМ из почвы в растения имеет их подвижность. При антропогенном загрязнении она, как правило, больше, так как ТМ в этом случае поступают в окружающую среду после их извлечения из минералов в результате переработки исходного сырья. Поэтому повышение концентрации металлов под действием антропогенных факторов нередко приводит к заметному повышению их концентрации в растениях (Алексеев, 1987).

Проблема поступления ТМ в растения имеет несколько практических моментов. Во-первых, растения являются промежуточным резервуаром, через который металлы переходят из воды, воздуха и главным образом, почвы в организмы человека и животных, в связи, с чем необходима разработка методов защиты пищевых цепей от проникновения токсикантов в опасных концентрациях. Во-вторых, доказана токсичность ТМ для самих растений, что ставит ряд вопросов о реакции растений на их избыток в среде (Большаков, 2002; Минкина, 2006).

Вступая в контакт с клеточными стенками и рядом минеральных и органических соединений, содержащихся в клетках, металлы осаждаются и теряют биологическую активность. Однако при загрязнении почвы большим количеством металлов некоторая их часть способна миновать защитные системы растения и оказать на него токсическое воздействие (Дабахов, 2005).

Любой ТМ, накапливаясь в растениях в большом количестве, может конкурировать с физиологически важными металлами за места в активных

центрах каталитических систем, инактивируя их и нарушая тем самым важнейшие функции растительного организма, например, такие как фотосинтез и дыхание (Чернавина, 1970). Кроме того ТМ могут реагировать с некоторыми жизненно важными элементами (например, с фосфат-ионами), переводя их в нерастворимое состояние (Дабахов, 2005).

Установлено, что накопление ТМ в организме человека осуществляется в большей степени за счет пищи и в меньшей степени за счет воды и воздуха (Vetter, 1974).

Изучение чувствительности растений к действию поллютантов имеет особое 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).

На транслокационную способность металлов в системе почва-растение оказывают влияние физико-химические и агрохимические свойства почв, а также формы нахождения металлов в почве (малоподвижные, сорбированные, растворимые) (Шведова, 2004).

В водорастворимой и ионообменной форме ТМ легко поглощаются растениями, а затем передаются в экосистемах по пищевым цепям. В случае сельскохозяйственных и лекарственных растений это создает прямую угрозу для человека как конечного звена в таких цепях (Гладков, 2010).

Проблемы фитотоксичного действия ТМ на растения при поступлении через корневую систему интенсивно исследуется, поскольку таким путем поступает не менее половины их общего количества (Смирнов, 2009).

При большом избытке металла в ОС защитные авторегуляторные механизмы корневой системы «срываются», избыточные ионы поступают в корень и надземную часть растений (Ковда, 1980).

Соединения мышьяка способны проникать в растения и передвигаться по их сосудистой системе, что нередко приводит к загрязнению продуктов растениеводства.

Мышьяк в малых количествах может быть полезен растениям, а в больших – вреден. Угнетение растений наступает при содержании мышьяка 250 мкг/кг. Негативное действие мышьяка проявляется в подавлении роста растений, снижении продуктивности, слабом развитии корневой системы, увядании листьев, снижении транспирации (Черников, 2009).

Поглощение мышьяка растениями, как правило, соответствует его содержанию в почве. Симптомы токсичности мышьяка в растениях сводится к изменению цвета листьев и повреждению корневой системы. Рост растений останавливается, а более чувствительные растения могут погибнуть (Нейтрализация загрязненных почв, 2008).

При мышьяковом загрязнении окружающей среды затрудняется фосфорное питание растений (мышьяк, как известно, обладает геохимическим сродством с фосфором), тем самым снижается урожайность.

Ацидофицирующая активность корней под воздействием мышьяка снижается. По-видимому, это связано с ингибирующим действием данного токсиканта на работу протонных насосов. Недостаток калия в корневой системе не позволяет растению выделять в примыкающую к корню среду протоны водорода, вследствие этого идет не подкисление почвенных растворов, а наоборот их защелачивание. А это, в свою очередь, ведет к снижению усвояемости растениями элементов минерального питания. Эффективность работы корневой системы значительно снижается (Курманбаева, 2008).

Неблагополучное состояние растительности в условиях загрязнения можно проследить по ряду факторов: присутствию некрозов и хлорозов, увеличению грибковых заболеваний, а также появлению признаков ксеноморфности (карликовость, мелколистность, розеточность и др.) (Рылова, 2003).

#### **1.4. Устойчивость и степень поглощения тяжелых металлов и мышьяка растениями: растения – толеранты и растения – «аккумуляторы»**

В условиях повышенного содержания ТМ в среде произрастания растения выработали различные стратегии устойчивости, в основу которых заложены два противоположных принципа – аккумулятивное с последующей изоляцией токсикантов от метаболически активных компартментов клетки и, так называемая толерантность - избегание, когда растение с помощью различных механизмов снижает доступность металлов в корневой зоне, либо их перемещение внутри растения за пределы корневой системы (Андреева, 2009).

Кроме того, у растительных организмов выделяют два вида устойчивости: основная устойчивость, присущая большинству растений, и гиперустойчивость к определенным металлам. Гиперустойчивость может быть опосредована, как за счет механизмов исключения ТМ, так и за счет гипераккумуляции металлов в наземной части растения (Кулаева, 2010). Толерантность растений к повышенному содержанию элементов и их способность накапливать высокое количество токсикантов опасны с точки зрения поступления их в пищевые цепи, но они могут быть использованы в целях фитомелиорации (Бурлакова, 2001).

Растения используют два пути приспособления к высокой концентрации избыточных ионов среды 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 компартаменты, а также изменение метаболических путей (Ильин, 1982).

Таким образом, различные виды растений отличаются по способности к накоплению 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 удобно использовать в биомониторинге. Растения, в которых

уровень элемента длительное время остается на низком уровне даже при избытке в среде называются отражателями (Чиркова, 2002).

Толерантность растений к токсикантам не представляет собой одинаковый 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; удаление ионов из растений при вымывании через листья, соковыделении, 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 сугубо специфична. По-видимому, эта устойчивость является генетически закрепленным признаком, который можно использовать в различных технологиях очистки окружающей среды при помощи растений (Буравцев, 2005).

Развитие толерантности к металлам происходит довольно быстро и имеет генетическую основу (Ковалевский, 1969).

Генетический анализ популяций ряда высших растений показал, что основная устойчивость к некоторым металлам (мышьяк, медь, цинк) скорее всего, определяется одним или двумя основными генами и работой генов-модификаторов, определяющих уровень устойчивости. 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 невредных) концентраций химических элементов (Гиниатулин, 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 (Капитанова, 2000).

Уровень накопления ТМ в репродуктивных органах растений значительно ниже, чем в вегетативных, и определяется биологическими особенностями возделываемой культуры. У капусты белокочанной (*Brassica oleracea*) 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 синтеза функций 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). Проще говоря, для того чтобы оценить интенсивность биологического поглощения элемента, надо сравнить содержание этого элемента в растении и источнике, от куда этот элемент поступает (Добровольский, 2003).

Растения, относящиеся к разным семействам, заметно различаются по способности накапливать ТМ (Гиниятулин, 2010).

Устойчивы к высоким концентрациям мышьяка: картофель (*Solanum tuberosum*), томаты (*Solanum lycopersicum*), морковь (*Daucus*), виноград (*Vitis*), малина (*Rubus idaeus*); среднеустойчивы земляника (*Fragaria*), кукуруза (*Zea mays*), свекла (*Beta*), тыква (*Cucurbita*), кабачки (*Cucurbita pepo*); слабоустойчивы лук (*Allium cepa*), горох (*Pisum*), огурцы (*Cucumis sativus*) (Черников, 2009).

На почвах с высоким содержанием металлов формируются специфические сообщества. Определение видового состава растений, произрастающих на территориях, загрязненных ТМ, показало преобладание рудеральных и сорных видов (Башмаков, 2004).

Исследования показывают, что в сорных растениях по сравнению с соломой зерновых культур, содержание ТМ выше (Ряховский, 2004).

Установлено, что донник ароматный (*Melilotus suaveolens*) не допускает дополнительного поступления ТМ в свои ткани и поэтому он может высеваться на загрязненных землях, планируемых для использования под пастбища (Бабошкина, 2007).

Рядом ученых были изучены механизмы устойчивости декоративных растений сразу к нескольким стрессовым факторам. Подбор потенциальных видов-кандидатов для исследований велся среди растений, обладающих не только выраженной способностью к аккумуляции поллютантов, но и обладающих декоративной ценностью. В качестве культуры, отвечающей таким требованиям, можно предложить растения: хрустальная трава (*Mesembryanthemum crystallinum*) и мезембриантемум волосоцветковый (*M. Criniflorum*). Полученные результаты позволяют рассматривать изученные растения в качестве перспективных кандидатов при разработке технологий рекультивации земель с высокой степенью загрязнения ТМ. Не менее существенна также возможность использования этих растений в качестве декоративных культур в парковых и садовых фитоценозах загрязненных городов (Волков, 2011).

По интенсивности загрязнения растительности ТМ в лесных сообществах Новгородской области выделяются хвощ полевой (*Equisetum arvense*), мхи, облиственные побеги лиственных деревьев и кустарников; наиболее чистые – побеги хвойных и кустарнички (черника- *Vaccinium Myrtillus*, брусника-*Vaccinium vitis*) (Вяйзенен, 2004).

Общей тенденцией при сравнении накопления ТМ различными группами макромицетов является максимальная аккумуляция элементов трубчатыми

грибами, а в меньшей степени пластинчатыми грибами. Минимальной способностью накапливать ТМ характеризуются аскомицеты (Егошина, 2004).

В плодовых телах некоторых видов съедобных грибов, развивающихся в условиях природных экосистем, не испытывающих существенного техногенного загрязнения, содержание свинца и мышьяка превышало допустимые уровни. То есть, установлено, что лимитирующими элементами в отношении риска поступления с плодовыми телами съедобных грибов являются мышьяк, свинец и реже никель (Костычев, 2009).

В грибах ТМ распределены неравномерно. У пластинчатых грибов наибольшее количество тяжелых металлов обнаружено в особых тканях шляпки плодового тела – пластинках (сыроежка - *Russula*, волнушка - *Lactarius*, рыжик-*Lactarius deliciosus*, шампиньон - *Agaricus* и др.). У трубчатых грибов (подберезовик - *Leccinum scabrum*, масленок - *Suillus luteus*, белый гриб - *Boletus edilis* и др.) наибольшее количество ТМ находится в трубчатом слое шляпки плодового тела. Меньшее количество ТМ содержится в шляпке плодового тела, еще меньше в ножке (Черников, 2009).

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

В связи с усиливающимся загрязнением природной среды большое количество природных веществ попадает в водотоки и водоемы, где они ассимилируются водными организмами и включаются в пищевые цепи. Многие из токсических веществ аккумулируются в организмах гидробионтов и, достигая высоких значений, могут привести к их гибели. Только немногие виды, способны переносить сильное загрязнение среды обитания и высокие дозы загрязняющих веществ, приспосабливаются к антропогенному прессингу. К числу таких организмов можно отнести ряску малую (*Lemna minor*), являющуюся важным компонентом растительного покрова водоемов и водотоков (Капитонова, 2004).

Растения делят на две основные группы: исключители, накапливающие ТМ исключительно в корнях, и как говорилось ранее - аккумуляторы, накапливающие

ТМ в побегах (из них известно около 450 видов гипераккумуляторов). Способность к гипераккумуляции определяется высокой эффективностью механизмов детоксикации, благодаря чему гипераккумуляторы устойчивы к ТМ. Гипераккумуляторы по сравнению с исключителями обладают: 1) повышенной скоростью поглощения ТМ из окружающей среды, что определяется конструктивно высокой экспрессией в корнях гипераккумуляторов генов транспортеров, например ZIP4; 2) эффективными механизмами детоксикации и изоляции ТМ в вакуолях клеток эпидермов листа, что согласуется с более высоким уровнем экспрессии гена, кодирующего тонопластный  $Zn^{2+}/H^{+}$  антипортер MTP1; 3) большей мобильностью ТМ по тканям корня в результате пониженного накопления ТМ в вакуолях клеток корня и отсутствия барьерных тканей, а также повышенной скоростью загрузки тяжелых металлов в ксилему (Серегин, 2011).

Экологически более точный путь в проведении фитоэкстракции заключается в увеличении относительной скорости выноса элемента из почвы за счет роста массы урожая. Существуют растения, формирующие за вегетационный период большую массу (козлятник - *Galega*, борщевик – *Heracleum* и др.). Можно использовать растения, дающие более одного урожая в год (травы) (Дричко, 2006).

Например, топинамбур (*Helianthus tuberosus*) и горец сахалинский (*Fallopia sachalinensis*), отличаются высокой урожайностью зеленой массы (80-140 т/га) и способностью значительного выноса из почвы ТМ, таким образом, могут быть использованы в севооборотах как сорбенты-фитомелиоранты, накапливающие в зеленой массе ТМ и сохраняющие экологически чистую среду для последующих культур (Цугкиев, 2004).

Растения семейства бобовых (*Fabaceae*) отличаются способностью поглощать элементы-металлы. То есть растения семейства бобовых могут накапливать – аккумулировать – значительное количество элементов-металлов, в том числе опасных для живых организмов ТМ (Зудилин, 2006).

Для изучения влияния барьерных свойств растений на накопление в них ТМ были проанализированы паслен (*Solanum*) и кровохлебка (*Sanguisorba*), растущие на максимально загрязненных почвах г. Свирска. Установлено, что паслен накапливает намного больше ТМ и мышьяка, чем кровохлебка, поэтому его можно использовать для фиторемедиации почв (Белоголова, 2010).

Опыт с использованием рапса ярового (*Brassica napus*) в качестве фиторемедианта, показал снижение в почве содержания подвижных форм цинка, меди, свинца и мышьяка в фазе полной спелости культуры. Однако содержание этих элементов в растительных образцах рапса ярового в фазе бутонизации значительно возрастало, по сравнению с фазой желто-зеленого стручка и фазой полной спелости. Таким образом, рапс яровой при уборке в фазе бутонизации накапливал значительные количества ТМ, что можно использовать при рекультивации загрязненных ими земель (Сискевич, 2008).

Другие исследователи показали, что использование растений (суданская трава – *Sorghum sudanense*, райграс пастбищный – *Lolium perenne*, рапс яровой – *Brassica napus*, сорго зерновое – *Sorghum bicolor* и подсолнечник однолетний – *Helianthus annuus*) для очистки почвы от ТМ стимулировало активность дегидрогеназ во всех вариантах загрязненной почвы, пероксидаз – во многих вариантах, что коррелировало с убылью загрязнителей и свидетельствовало об интенсификации процессов восстановления почвы.

Показано, что максимальная убыль ТМ (свинца, кадмия и никеля) наблюдалась в почве при культивировании рапса. Рапс яровой (*Brassica napus*), как показали исследования, наибольшим образом стимулировал активность дегидрогеназ и пероксидаз в почве. Содержание мышьяка в почве заметнее снижалось при культивировании сорго зернового (Плешакова, 2011).

Также было установлено, что райграс пастбищный (*Lolium perenne*) обладает меньшей, по сравнению с горчицей сарептской (*Brassica juncea*) способностью к фитоэкстракции, однако он поглощает свинец корнями, временно иммобилизируя его, к тому же он более устойчив к неблагоприятным воздействиям среды (высокие концентрации загрязняющих веществ,

вытаптывание и пр.), поэтому он может быть рекомендован в качестве газонной травы для озеленения обочин дорог и городского озеленения. Данные культуры перспективны для использования в фитоэкстракции почв со средним уровнем загрязнения свинцом, с возможностью использования горчицы сарептской в технологии фитоэкстракции, а райграса пастбищного в технологии фитостабилизации (Бганцова, 2009).

Для фитодезактивации техногенно загрязненных земель возможно использование гречихи (*Fagopyrum*), однако количество ТМ, накапливающихся в биомассе, относительно невелико, а при высоких уровнях загрязнения эффективность «извлечения» металлов снижается (Басов, 2010).

По данным Т.А. Трофимовой (2009), горчица сарептская (*Brassica juncea*) является мощным аккумулятором ТМ.

В исследованиях Д.А. Постникова (2009) выявлены фиторемедиационные способности у горчицы белой (*Sinapis alba*) и сафлора (*Carthamus tinctorius*).

Вейник наземный (*Calamagrostis epigejos*) в естественных условиях произрастания способен формировать популяцию растений с высокой продуктивностью на грунтах, загрязненных ТМ, а также накапливать значительные концентрации ТМ (Маджугина, 2008).

В работе Т.Н. Васильевой (2011) отмечена способность накопления ТМ у таких растений, как лопух большой (*Arctium lappa*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), полынь обыкновенная (*Artemisia vulgaris*).

Выявлено, что амарант багряный (*Amaranthus paniculatus*), редька масличная (*Raphanus sativus*) и горчица белая (*Sinapis alba*) способны отчуждать из почвы значительные количества тяжелых металлов. Лидером по выносу ТМ из почвы являлся амарант багряный, поскольку он обладал наибольшей из всех культур продуктивностью (Флёсс, 2007).

При разработке одной из перспективных биотехнологий очистки почв от ТМ, основанной на использовании растений совместно с ростостимулирующими микроорганизмами, изучалось произрастание подсолнечника однолетнего (*Helianthus annuus*) сорта «Саратовский 20», суданской травы (*Sorghum sudanense*)

сорта «Саратовская 1183» и микробного штамма *Aeromonas* sp. MG3, на почвах загрязненных мышьяком, свинцом, кадмием на уровне 15ПДК. Обнаружено, что мультзагрязнение почвы кадмием и свинцом существенно ингибировало активность оксидоредуктаз. При этом фиторемедиационные приемы не восстанавливали биохимическую активность до уровня не загрязненной почвы. В почве с мышьяком, напротив, данные приемы увеличили активность дегидрогеназ и каталаз, которая через два месяца стала выше, чем до ремедиации и способствовали восстановлению фосфотазной активности. В целом, показатели активности исследованных окислительно-восстановительных и гидролитических ферментов отражали преимущества использования растительно-микробной ассоциации для ремедиации почв (Плешакова, 2010).

Группой исследователей изучались особенности накопления ТМ вегетативными органами подорожника большого (*Plantago major*), одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*), донника белого (*Melilotus albus*) и изучение признаков антиоксидантной защиты. Процессы накопления химических элементов в растительных органах и антиоксидантный статус рассмотрены на примере меди. Установлено, что по мере возрастания металла в почвах уменьшается коэффициент накопления, что свидетельствует о наличии некоторого «корневого барьера», ограничивающего свободное поступление металла в подземные органы. Следует отметить, что у исследуемых видов, произрастающих в условиях высокого химического загрязнения почвы, выявлены механизмы биохимической адаптации, проявляющиеся в существенной индукции синтеза пролина и активации ферментов антиоксидантной защиты (Фазлиева, 2011).

Изучались растения гинкго двулопостного (*Ginkgo biloba*) для выращивания его на техногенно загрязненных ТМ почвах. Исследования показали, что гинкго в основном проявляет свойства «исключителя», при гибкой системе отбора элементов, при которой наиболее токсичные – свинец, кадмий слабо поглощаются, а более необходимые для метаболизма, не накапливаясь в корнях, транспортируются в надземную часть. Такой селективный отбор ТМ по-видимому

и создает адаптивный механизм выживания гинкго в экстремальных условиях (Баранов, 2011).

Отмечалась толерантность бархатцев (*Tagetes*) к загрязнению ТМ и способность их к аккумуляции ТМ (Пшенин, 2003).

При изучении степени металлоустойчивости при длительной экспозиции на ионах ТМ дикорастущих рудеральных видов: клена ясенелистого или американского (*Acer negundo*), лопуха большого (*Arctium lappa*), одуванчика лекарственного (*Taraxacum officinale*), мари белой (*Chenopodium album*) и череды трехраздельной (*Bidens tripartitus*), собранных в разной по степени антропогенной нагрузки и загрязнению ТМ экотопах, были получены результаты, которые показали, что степень ингибирования всхожести и ростовых показателей зависела от вида растения и концентрации металлов. Сублетальные концентрации (1мМ) всех изученных ТМ (Cu, Ni, Pb, Zn) резко снижали всхожесть. Сильнее всего ТМ ингибировали прорастание и рост семян лопуха, а менее всего – клена американского и одуванчика лекарственного. Так, наибольшей толерантностью обладали растения промышленных зон. Полученные данные позволяют предполагать существование на неодинаковых по уровню загрязнения экотопах различных эдафوفитов рудеральных растений, а также существование на одной и той же территории растений, различающихся по степени металлоустойчивости (Башмаков, 2011).

В работах В.И. Кудряшовой (2003) отмечалось, что наиболее активными накопителями ТМ являются такие дикорастущие растения как клевер луговой (*Trifolium pratense*), полынь горькая (*Artemisia absinthium*), ежа сборная (*Dactylis glomerata*).

Учеными также исследовались рост и развитие папоротника (*Matteuccia struthiopteris*) в присутствии ионов ТМ и особенностей их накопления и распределения в растении. Растения папоротника выращивали на водной питательной среде Кнопа в присутствии солей Cu, Pb, Cd в концентрации 100мкМ. Полученные данные свидетельствовали о том, что по аккумулялирующей способности данный вид папоротника относится к исключителям. Среди

исследуемых металлов в листья поступали только ионы Cd. Ионы Cd и Cu не оказывали ингибирующего воздействия на рост и развитие фотосинтезирующей части растений. В то время как действие ионов Pb приводило к снижению длины и фитомассы листьев (Богданова, 2011).

Для оценки влияния техногенного загрязнения почв ТМ на состояние травянистых фитоценозов были изучены растительные сообщества, находящиеся на расстоянии 0,5; 4,0; 8,0км от одного из крупнейших промышленных предприятий Республики Карелия – Кондопожского целлюлозно-бумажного комбината (ЦБК). В почвах всех исследованных участков валовое содержание ТМ в 1,5-4 раза превышает фоновый уровень, характерный для южной Карелии. При этом наиболее высокие концентрации металлов обнаружены на участках, расположенных в 0,5км от ЦБК. Общее количество видов травянистых растений на обследованных территориях не зависело от расстояния до источника загрязнения и варьировало в пределах 29-32 шт. Однако с приближением к комбинату изменялся видовой состав: уменьшалось количество видов семейства мятликовые (*Poaceae*), а число видов, относящихся к группе разнотравья, наоборот возрастало. На участках, расположенных в 0,5км от ЦБК, повышалась доля многолетних видов растений и снижалась доля однолетних. При анализе морфо-физиологических признаков оказалось, что растения разных участков практически не различались между собой по высоте, хотя варибельность этого признака существенно возрастала по мере приближения к комбинату. Помимо этого, у растений наблюдалось и некоторое увеличение содержания хлорофиллов и каротиноидов, что, по-видимому, способствует их лучшей адаптации к неблагоприятным условиям и позволяет им произрастать на загрязненной ТМ территории без существенных нарушений жизнедеятельности (Казнина, 2011).

Очистку почв от ТМ можно осуществлять с помощью газонных трав: мятлик луговой (*Poa pratensis*) наилучшим образом поглощает Cd, Co, Cu, Ni, райграс пастбищный (*Lolium perenne*) – хорошо поглощает Pb и Ni, полевица тонкая – Mn, овсяница луговая - Cd, Cu и Zn, для этого рекомендуется составлять

сложные многокомпонентные травосмеси из вышеперечисленных видов трав (Средин, 2011).

При изучении накопления ТМ листьями древесных растений в условиях загрязненной атмосферы, установлено, что лиственные породы растений более активно накапливали ТМ, чем представители хвойных (Маракаев, 2011).

Установлено, что деревья и кустарники, являющиеся основными биофильтрами городской среды, адсорбируя аэротехногенные выбросы на поверхности листьев, поглощая ТМ из воздуха и почв, и накапливая их в однолетних и многолетних органах, являются перспективными для использования в качестве фиторемедиантов. Связано это, прежде всего с их высокой биологической продуктивностью, повсеместностью использования в урбосистемах, способностью поглощать токсические элементы из нескольких горизонтов почвы, благодаря большому объему корневой системы, возможностью адсорбировать пылевые и аэрозольные частицы на высоте 0,5-30 м, а также высокой адаптивной способностью ряда видов к воздействию поллютантов.

Перспективным кустарником для фиторемедиации почв от избытка свинца является чубушник венечный (*Philadelphus coronarius*) (Горелова, 2011).

Вблизи промышленных городов существует тенденция накопления мышьяка в ксилемных образованиях березы повислой (*Betula pendula*) (Гордеева, 2010).

По данным других исследований лучшими концентраторами свинца являлись кедр (*Cedrus*) и тальник, произрастающие на урбанизированной территории вблизи автодорог, то есть в целях оздоровления урбанизированной среды при создании систем газонных насаждений необходим учет видовых особенностей в пользу кедра (Кирилюк, 2004).

Можно указать, что относительно высокий уровень свинца был обнаружен в клюкве (*Oxycoccus palustris Pers*), ягодах облепихи (*Hippophae*), а также в мхах, лишайниках (*Lichenes*), чернике (*Vaccinium*), папоротнике, хвоще (*Equisetum*), осоковых (*Cyperaceae*), кислице (*Oxalis*) (Явербаум, 2006).

Группой ученых изучалось поглощение ионов меди, свинца, кадмия и цинка из водных растворов водным гиацинтом (*Eichhornia crassipes*) в модельных условиях. Отмечено, что растения выдерживали превышение ПДК данных элементов в воде, сохраняли жизнеспособность и успешно размножались. За десять дней модельного эксперимента концентрация металлов снижалась более чем в 5 раз для цинка, в 6 раз для кадмия, в 4 раза для свинца, в 8,5 раза для меди. При этом в вегетативной массе эйхорнии значительного накопления данных металлов не отмечалось. Таким образом, показана эффективность использования растений водного гиацинта для очистки вод различного назначения от ТМ (Минаева, 2009).

При невысоких уровнях загрязнения почвы ТМ приемлемо совместное выращивание культур с растениями, интенсивно и избирательно поглощающими ТМ (Вяйзенен, 1997).

Основные направления исследования ТМ в растениях включают как традиционные, так и инновационные, к числу которых можно отнести фитоменеджмент (комплексное управление растительными ресурсами участков с загрязнением почв ТМ и радионуклидами); применение регуляторов роста и биологически активных веществ для уменьшения поглощения растениями ТМ или снижения окислительного стресса, индуцированного ТМ; использование методов геномики и генной инженерии в целях создания биосенсоров на токсичные ТМ в окружающей среде и для очистки от ТМ.

Синтетические регуляторы роста могут применяться для нивелирования негативных эффектов, индуцированных избытком ТМ в растениях. В частности их можно использовать для снижения повреждающих эффектов на растения; уменьшения поглощения растениями ТМ; уменьшения последствий хронического отравления растений ТМ; усиления выведения ТМ из осевых органов растений; использования в фиторемедиации; активации ряда антиоксидантных ферментов и увеличения концентрации низкомолекулярных антиоксидантов (Лукаткин, 2011).

### **1.5. Особенности загрязнения природной среды и мероприятия по устранению экологической катастрофы в МО г. Свирск**

Хозяйственная деятельность человека, приводит к изменению в структуре и функциях природных комплексов (Еськов, 2010). Большое отрицательное воздействие на окружающую среду оказывают промышленные предприятия, причем их воздействие может распространяться на десятки километров от самих источников загрязнения (Гимиятулин, 2010). Изменяются направления и темпы миграции химических элементов, металлы включаются в биологический круговорот. Фотохимические процессы в атмосфере, физико-химические и биологические в водной и почвенных средах не обеспечивают детоксикации резко возросшего количества загрязнителей. Опасными являются высокие концентрации ТМ в агроценозах (Еськов, 2010).

В МО г. Свирск Черемховского района Иркутской области многолетняя деятельность металлургической промышленности при недостаточном соблюдении, а также отсутствии мер экологической безопасности привела к повышенному загрязнению почв мышьяком и тяжелыми металлами (Рыбина, 2010).

Экологическая ситуация в МО г. Свирск катастрофическая. Новые проблемы расширения промышленного производства накладываются на нерешенные проблемы прошлого: всесоюзная свалка мышьяка в Свирске, созданная и брошенная на произвол судьбы шестьдесят лет назад военно-промышленным комплексом отравляет жителей города и грозит загрязнением реке Ангаре (Луковникова, 2009).

Свирск – это небольшой город (с 1949 г.) в Черемховском районе Иркутской области Российской Федерации, занимает площадь 22 км<sup>2</sup>. Население города, по данным на 2011 год, составляло 13649 человек, с тенденцией к уменьшению (с начала 1980-х годов город потерял треть своего населения) (Свирск. Материал из Википедии).



Рисунок 1 – Панорама г. Свирска

Город расположен на Иркутско - Черемховской равнине на левом берегу реки Ангара (рис. 1), в 150 км от Иркутска, в 19 км от города Черемхово и в 20 км от железнодорожной станции Черемхово.

В 1931 году около Свирска был построен АМЗ, занимающийся производством мышьяка. В 1932 году началось строительство железнодорожной ветки Черемхово - Макарьево, которая позднее продлилась до Свирска. В 1940 году в Свирске вступил в строй завод химических источников тока №389. В 1941 году на завод источников тока №389 был эвакуирован Ленинградский аккумуляторный завод. 16 ноября 1949 года поселок Свирск получил статус города (Свирск.Материал из Википедии).

АМЗ действовал в 1934-1949 гг. в интересах оборонной промышленности в рамках треста «Союзмышьяк» (Гайкова, 2010). На АМЗ осуществлялось получение триоксида мышьяка по упрощенной схеме, предусматривающей обжиг концентратов в подовых печах и улавливание возгонов мышьяка в куллерах с последующим рафинированием триоксида мышьяка. Огарки после обжига золотосодержащих концентратов и получения мышьяка направлялись на Среднеуральский медеплавильный завод (г. Ревда) для извлечения из них золота.

Концентраты Запокровского месторождения перерабатывались в ограниченном количестве, а огарки складывались на территории завода.

Металлургический комбинат был ликвидирован в 1949 году. Основные фонды списаны и брошены без демонтажа оборудования и ликвидации отходов, содержащих мышьяк. В чью-либо собственность, загрязненная территория завода не оформлялась, не имела охраны и ограждения (Государственный доклад о состоянии природной среды Иркутской области..., 2008). После закрытия АМЗ в 200 м от окраин тогдашнего Свирска и в 200 м от р. Ангары (в те годы самой чистой реки в мире) оказалось около 130 тыс. тонн отходов мышьяковистого производства и зараженное заводское оборудование (рис. 2) (Таевский, 2007).

Количество огарков на территории АМЗ составляло 131 тыс. тонн, в которых содержалось 1,25 % мышьяка. Специалисты подсчитали, что при смертельной дозе (СД) триоксида мышьяка 0,2 г общее количество СД в огарках составляло более 110 млн. человек. При этом самую большую опасность представляли не отвалы огарков, а сохранившиеся руины завода – общее содержание триоксида мышьяка в газоходах и бункерах оценивалось в 36,3 тонны, из которых 60 % находилось в водорастворимой форме, а содержание мышьяка в кирпиче достигало 2,5 г на 1 кг кирпича (Корк, 2009).



Рисунок 2 – Зброшенне цеха Ангарскага металургическага заводу (АМЗ)

На промышленной площадке почва загрязнена водорастворимыми соединениями мышьяка. Среднее содержание мышьяка в поверхностном слое почвы промышленной площадки завода превышало ПДК в 4365 раз, меди - в 89,1, свинца - в 321,9, цинка – в 132,4, сурьмы – в 208 (Государственный доклад о состоянии природной среды Иркутской области..., 2008).

Институтом геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН получены предварительные данные по содержанию мышьяка в воде и донных отложениях Братского водохранилища и в почвах МО г. Свирск. Концентрация мышьяка в воде Братского водохранилища колебалась в пределах 2,5-5,7 мкг/л, при средней концентрации 3,91 мкг/л. Это значительно ниже ПДК (50 мкг/л) мышьяка для питьевой воды и воды водоемов хозяйственно-питьевого и культурно-бытового водопользования. Концентрация мышьяка в почвах колебалась в пределах 4,1-310 мг/кг. Это выше ПДК (2мг/кг) мышьяка в почвах в 2-150 раз. Наиболее загрязненными мышьяком были почвы, расположенные в непосредственной близости от арсенопиритных отвалов (Ефимова, 2007).

Как уже говорилось, на территории Свирска находилось два очага отходов, содержащих мышьяк. Первый – это здание завода и оборудование, второй – отходы производства АМЗ, содержащие до 25% водорастворимых форм мышьяка, общим объемом более 48 кубометров и весом более 130 тыс. тонн. По информации экологов, площадка около АМЗ использовалась для хранения отходов производства, содержащих соединения мышьяка, со всех химических предприятий СССР (Арановская, 2008).

Например, в конце 1937 г. в окрестностях Москвы на территории военно-химического полигона в Кузьминках – были произведены раскопки химоружия. Окончательные отчетные цифры, найденного в земле полигона и на дне его озера химического имущества были таковы: артхимснарядов разных калибров – 878, авиахимбомб различных калибров – 75, химмин различных калибров – 6972. Кроме того, было найдено 195 неразорвавшихся химфугасов, 832 ЯД-шашки, 733 баллона (из них 353 баллона с фосгеном, синильной кислотой, хлором и т.д.), 946 бочек, главным образом, с ипритом и люизитом.

Помимо этого «богатства», из разрытых ям было извлечено примерно 250 т мышьяковых отравляющих веществ (ОВ) и отходов от производства ОВ, а также 250 т зараженного металлолома. Цифры эти были явно округлены.

Что до реабилитации, то она в те годы была бесхитростной. Все что не содержало мышьяк, сжигалось.

Что до адасита и отходов производства, мышьяковых ОВ, то поначалу их планировалось попросту затопить в море и лишь после протеста руководства треста «Союзмышьяк», их решили утилизировать на заводах этого треста. В первую очередь, имелся в виду завод в будущем городе Свирске, и для перевозки туда мышьяковых отходов был сформирован целый железнодорожный состав. (Федоров, 2009).

Ни о каких захоронениях в то время речи не шло – мышьяк был попросту свален в ямы. Однако сравнительно небольшие отходы самого завода в последующие годы многократно увеличились – со всего СССР, включая союзные республики, в город Свирск свезли все мышьяковые отходы (Арановская, 2008).

Сложно было понять, где начинается территория бывшего завода. Ни охраны, ни колючей проволоки – лишь часть того, что некогда было высокой оградой, а в конце поля кирпичные развалины (Дементьева, 2006).

От кромки Братского водохранилища ядовитую зону отделяет не более 500 м, от ближайших жилых зданий – 700 м, от дачного кооператива – 200 м (Концы в карьер, Сибирский энергетик, 2011).

До 1991 года информация о загрязнении ОПС г. Свирска была закрыта. В последние годы оценку степени загрязнения проводили различные научные учреждения: Сибирский институт физиологии и биохимии растений (СИФИБР), Иркутский государственный университет (ИГУ), Иркутский государственный технический университет (ИрГТУ), Иркутский ОК по ООС, ДВФЭЗ, однако технологических решений по детоксикации почвенного покрова МО г. Свирск предложено не было. Установлено, что наличие мышьяковой аномалии в почвах г. Свирска, приуроченной к отвалам огарков бывшего АМЗ и свинцовое загрязнение почв, связанное с деятельностью аккумуляторного завода, могут

представлять особую экологическую опасность. В зонах техногенного загрязнения в почвах возрастало содержание подвижных форм ТМ и мышьяка, что указывало на усиление их миграционной способности и биодоступности. Высокой подвижностью и биодоступностью в изученных почвах выделялся кадмий, являющийся одним из наиболее сильных генотоксичных и канцерогенных ядов. Мышьяк, при определенных условиях, способен переходить в подвижные формы и накапливаться в растениях.

Прослеживалось заметное накопление ТМ и мышьяка (в отдельных случаях достигающее ПДК) в продуктах питания местного производства, в частности, в молоке и овощах. Эти результаты согласовывались с высоким загрязнением почв тяжелыми металлами. Несмотря на то, что элементы-токсиканты в пищевой цепи человека не всегда достигали ПДК, в конечной цепи в биосубстратах человека, они накапливались до очень высоких пределов (Белоголова, 2010).

По данным Иркутского областного комитета по охране окружающей среды в почвах вокруг завода с 1991 по 2002 гг. среднее содержание подвижных форм свинца, марганца, никеля, меди и кобальта увеличилось примерно в 2 раза, ртути – в 4 раза, что превышало ПДК в несколько раз (Ревич, 2007).

Максимальная концентрация ртути в почвах г. Свирска, вблизи отвалов АМЗ ( $A_0+A$ ), составляла 4,5 мг/кг (ПДК – 2,1 мг/кг), а в 800 м от АМЗ (А пах) – 0,036 мг/кг (Гордеева, 2011).

В экспедиционных исследованиях были получены предварительные результаты о накоплении мышьяка в молоке коров в населенных пунктах, расположенных по левому берегу долины р. Ангара, картофеле, выращенном на участках, прилегающих к территории отвалов. Однако данных, позволяющих однозначно оценить риск здоровью населения г. Свирска получено не было (Ефимова, 2007).

По утверждению главного специалиста по экологической безопасности и благоустройству Свирска Татьяны Степаненковой, в молоке коров, которые пасутся неподалеку от АМЗ, предельно допустимая концентрация мышьяка была превышена в 39 раз (Земли Свирска пропитаны мышьяком, ГТРК Иркутск, 2009).

Никто не может сказать, сколько жителей Свирска погибли от отравлений на мышьяковом заводе и от действия его отходов. Горожане говорят, что большинство рабочих не дожили и до 40 лет (В Иркутской области вымирает целый город, 2007).

Сотрудниками биолого-почвенного факультета Иркутского государственного университета (ИГУ) и Дальневосточного фонда экологического здоровья (ДВФЭЗ) были получены данные по исследованию жилой зоны г. Свирска в октябре-ноябре 2009г. Почвенные пробы отбирались в г. Свирске и г. Черемхово. Всего было отобрано 79 проб на детских площадках, территориях детских садов, во дворах жилых домов, в которых определялось содержание свинца, кадмия и мышьяка.

Результаты анализа проб почв г. Свирска показали, что главным загрязнителем является мышьяк, концентрация которого в почвах превышала ПДК (2мг/кг) в 5-10 раз на детских площадках и в 300 раз – промышленных зонах. На двух детских площадках в г. Свирске (ул. Лермонтова д.8 и ул. Лазо д.2) было обнаружено содержание мышьяка в почвах, превышающее максимальный показатель вредности – 15 мг/кг. Согласно российским санитарно-гигиеническим нормативам почвы с таким содержанием относят к категории «чрезвычайно опасные». Все остальные пробы содержали несколько меньшее количество мышьяка (Рыбина, 2010).

Игры детей на детских площадках с загрязненной почвой могут привести к избыточному поступлению токсических веществ в организм ребенка (Влияние на организм... Материалы большого информационного архива).

Опасность представляют и высокие концентрации кадмия в почвах жилой зоны. Обнаруженное загрязнение свинцом хотя и превышало ПДК в ряде случаев, но все же в обследованных местах угрозы для здоровья жителей не представляло (Рыбина, 2010).

После закрытия АМЗ основным градообразующим предприятием в г. Свирске являлся аккумуляторный завод «Востсибэлемент» (Дан, 2003), который внес значительный вклад в загрязнение окружающей природной среды (ОПС)

свинцом. Предприятие было донором не только городского, но и районного и областного бюджетов (Там же). После закрытия «Востсибэлемента» в 1999 году на его базе возникла группа компаний ЗАО «АкТех», занимающаяся производством аккумуляторов. В воздухе на территории заводов отмечался стойкий запах пыли и першение в горле (Хиндалов, 2002).

В 2006 г. в Свирске был запущен новый завод по переработке аккумуляторного лома, производству свинца и сплавов ЗАО «Эколидер» - дочернее предприятие ЗАО «АкТех» (Терентьева, 2006). По словам директора Александра Огородникова, предприятие ЗАО «Эколидер» оценивается как самое совершенное и экологически безопасное в стране среди занимающихся данным видом деятельности (Гундорова, 2006).

Таким образом, мышьяк – далеко не единственная экологическая проблема Свирска. Все заостряют внимание на мышьяке, забывая о многолетней работе завода «Востсибэлемент», который день и ночь загрязнял атмосферу свинцом, а мышьяк и свинец одновременно усиливают токсическое воздействие на среду (Махнева, 2012).

Вплоть до 1989 г. о Свирском мышьяке не говорил никто, проблема получила огласку только после 1991 г. К сожалению, тогдашнему мэру г. Черемхово (под контролем которого находился и Свирск) до мышьяка дела не было. Финансирование города велось по остаточному принципу, денег не хватало на элементарное решение экологических проблем.

Вопросы экологии региона поднимались лишь на сессии Законодательного собрания. Было зарегистрировано около десятка официальных запросов депутата от Свирска А. Козьмена как к областной думе, так и лично к губернатору Иркутской области. Но вопросы записывались, на них обещали ответить и тут же забывали (Таевский, 2007).

Экологические проблемы г. Свирска начали решаться только с 2006 г., когда Свирск стал самостоятельным муниципальным образованием (МО). К практическому решению приступили в 2009 г., когда Свирск стал участником федеральной программы «Национальная система химической и биологической

безопасности РФ», на что были выделены средства из федерального бюджета. Летом 2009 г. прошел тендер, который выиграл ИрГТУ (Корк, 2009).

ИрГТУ выиграл грант Министерства образования и науки РФ по разработке программы эколого-социальной реабилитации населения города Свирска, где ликвидируется крупный очаг загрязнения мышьяком. Как сообщили в пресс-службе ВУЗа, сумма гранта на 2012-2014 годы составляет 3 млн. рублей. Задача ученых заключается в исследовании геохимической миграции ТМ через почву в организм человека. Разработка эколого-социальной реабилитационной программы является продолжением работы сотрудников университета по обеззараживанию мышьяксодержащих отходов.

Перед разработчиками проекта из ИрГТУ стояла сложная комплексная задача, которая предполагала, что растворимые соединения мышьяка должны стать нерастворимыми, свалка не должна пылить, а развалины завода, представляющие не только химическую, но и травматическую опасность, должны быть окончательно снесены. Суть химического процесса заключается в том, что огарки, содержащие мышьяк, должны быть залиты известковым раствором. Мышьяк кальцируется и впоследствии будет захоронен в уже существующем карьере, который был выбран из-за того, что в нем практически нет притока воды извне (кроме дождевой), а стенки не позволяют попавшей в карьер воде просачиваться в другие горизонты.

По словам председателя проектной организации, в 2009 году был произведен мониторинг ситуации и подсчет объема огарков, в 2010 году разработана технология и регламенты проекта. Проектировщики даже показали рисунок, демонстрирующий площадку свалки через несколько лет после завершения ликвидации очага загрязнения, - вместо свалки отсыпана площадка, на здоровой почве высажены деревья (Смойлов, 2011).

Проект ИрГТУ по ликвидации очага загрязнения мышьяком территории промышленной площадки АМЗ в районе Свирска Иркутской области удостоен золотой медали «Гарантия качества и безопасности» на международном салоне

«Комплексная безопасность – 2011», который прошел в Москве во Всероссийском выставочном центре с 17 по 20 мая 2011 г.

500 участников из 15 стран мира ознакомились с инновационными достижениями и российскими разработками в области обеспечения безопасности, предупреждения и ликвидации последствий техногенных катастроф (Проект НИИ ИрГТУ..., 2011).

Предложенный способ обезвреживания мышьякосодержащих отходов методом экобетонирования на основе интегральной минерально-матричной технологии заключается в том, что при его реализации используется химическая активность промышленного отхода – щелочного кека. Благодаря этому исключается нерациональная операция по их нейтрализации. Компоненты отходов участвуют в химических процессах формирования новообразований, обладающих вяжущими свойствами, и вследствие этого становятся «элементами» новой структуры, благодаря создающейся в процессе переработки отходов минеральной матрице.

Таким образом, предложенная технология экобетонирования промышленных отходов АМЗ позволяет формировать безопасные для окружающей среды искусственные грунты.

Общая величина предотвращенного экологического ущерба в результате утилизации отходов производства АМЗ составит 54 млн. 69 тыс. руб. Прогнозируется снижение канцерогенного риска на 677 случаев онкозаболеваний на миллион человек (Богданов, 2008).

Себестоимость Иркутской технологии оказалась почти вчетверо дешевле мировых аналогов (Кулибина, 2011).

Работы по демонтажу конструкций АМЗ начались в 2011 г. Изначально было решено демонтировать строительные конструкции с помощью взрывов. Но этот метод вызвал недовольство среди местного населения. Общественность начала собирать подписи в пользу отказа от такой технологии. Учтя пожелания жителей, администрация города приняла решение проводить разборку всех строительных конструкций и производственных корпусов зданий механическим

способом, что было сделано в 2011 г. Груда строительных обломков – 10-12 тыс. т кирпича и порядка 3 тыс. т огарков была огорожена по периметру высоким забором (4 м) (Вигорская, 2012).

В 2012 г. в г. Свирске был начат второй этап утилизации опасных отходов. С территории промышленной площадки бывшего АМЗ было вывезено порядка 200 тыс. м<sup>3</sup> опасных отходов (150 тыс. т мышьяковых огарков, около 16 тыс. т строительного мусора и порядка 40 тыс. т зараженной почвы). Перед транспортировкой отходов, огарки и строительный мусор были обеззаражены известковым молоком, которое образовывало корочку на поверхности и предотвращало пыление. Строительный мусор, загруженный в машины, обрабатывался дополнительно (рис.3). Установки пылеотведения поливали его раствором непосредственно во время погрузки. Кроме того, поскольку в кислой среде происходит растворение мышьяка и тяжелых металлов, постоянно контролировался уровень рН. При выезде с промплощадки, колеса грузовиков тщательно промывались водой. С промышленной площадки грузовики отправлялись на полигон временного складирования – это отработанный участок Северный №5 Черемховского угольного разреза, находящийся в 22 км от г. Свирска.



Рисунок 3 – Вывоз загрязненных отходов производства, цехов и почвы

При демонтаже строений АМЗ и ликвидации загрязнения концентрация вредных веществ в воздухе не превышала ПДК (Махнева, 2012).

На начало 2013 г. все отходы с территории промплощадки в Свирске были вывезены.

На место зараженного грунта, который вынимался в среднем до метра, был доставлен условно плодородный грунт, после чего промплощадку еще засыпали слоем плодородной почвы (30-40 см).

На месте завода изначально планировалось посадить топинамбур и тополя, которые СИФИБР разработал специально для Свирска, но Главгосэкспертиза исключила данный вид обеззараживания, поскольку, на ее взгляд было не ясно, как утилизировать листву и сами растения. Однако по настоянию главы города Владимира Орноева, тополя все-таки были посажены по периметру промплощадки бывшего АМЗ, а также на самой промплощадке была высеяна трава овсяница (Арбузова, 2012).

Вначале 2013 г. было начато строительство саркофага для хранения вывезенных отходов (рис. 4). Саркофаг представляет собой инженерное сооружение, которое не позволит захороненным компонентам выйти за пределы этой зоны. Он включает в себя комплекс органических и минеральных противофильтрационных экранов. Строился саркофаг по самым современным немецким технологиям. Поскольку он создавался на территории бывшего угольного разреза, основой служила земляная траншея, оставшаяся после добычи угля. Ее размеры около 15 м в высоту, 50 м в ширину, более километра в длину. Вместимость около 250 тыс. м<sup>3</sup>. Обезвреженные отходы закладываются в саркофаг, сверху все закрывается пленкой и забетонируется (Иркутские ученые ищут способы очистить Свирск..., 2012).

В сентябре 2013 г. все работы по подготовке основания саркофага были проведены и приняты службами государственного жилищного, строительного и авторского надзора по Иркутской области. Ориентировочный срок окончания работ по завозу отходов в котлован – до 1 ноября 2013 г.



Рисунок 4 – Строительство площадки для хранения загрязненных отходов АМЗ

На основе анализа литературных источников по изучаемой проблематике можно сделать следующие выводы. Вопрос загрязнения ОС в Иркутской области стоит очень остро. Особенно эта проблема актуальна для МО г. Свирск Иркутской области, где имеет место масштабное загрязнение ОС мышьяком и ТМ. В первую очередь значительному загрязнению подвергся почвенный покров. Почвы, находящиеся в непосредственной близости к источникам загрязнения уже не способны к самоочищению. Это приводит к миграции ТМ, они поглощаются растениями, в том числе и теми, которые местное население употребляет в пищу и на корм животным. Так, ТМ и мышьяк вовлекаются в биологический круговорот, что создает реальную опасность для здоровья населения МО г. Свирск.

Анализ демографической ситуации г. Свирска в 2006 году (начало наших исследований) свидетельствует о том, что в этот год в городе родилось 178 человек, умерло – 408 (убыль – 230 человек за год). Продолжительность жизни мужчин всего 53 года, женщин – 68,7 лет.

## 2. АБИОТИЧЕСКИЕ И ЭДАФИЧЕСКИЕ УСЛОВИЯ РАЙОНА ИССЛЕДОВАНИЙ

### 2.1. Абиотические условия

Иркутская область расположена почти в центре Азиатского материка и имеет большую протяженность как с севера на юг (около 1400км), так и с запада на восток (около 1500км). На западе она граничит с Красноярским краем, на севере с Республикой Якутия, на северо-востоке – с Забайкальским краем, на юге и юго-востоке – с Республикой Бурятия. Область находится в седьмом часовом поясе. Общая площадь территории области составляет около 767,9 тыс. км<sup>2</sup>.

Черемховский муниципальный район Иркутской области расположен в юго-западной части региона (Погодные нормы и условия в Черемховском районе) и граничит с Республикой Бурятия, на западе с – Заларинским, на востоке с – Усольским районом, на севере – с Усть-Ордынским Бурятским автономным округом. Площадь района 10,4 тыс. км<sup>2</sup>(Беркин, 1993). Вся территория находится в пределах Иркутско-Черемховской равнины, и характеризуется сравнительно спокойным рельефом местности с неглубокими распадками(Погодные нормы и условия в Черемховском районе). Иркутско-Черемховская равнина расчленяется хорошо разработанными долинами рек. Центр района - г. Черемхово.г. Свирск расположен на северо-востоке района в 19 км от г. Черемхово на берегу Братского водохранилища.

Район расположен в резко континентальном климатическом поясе. Несмотря на небольшую площадь района, климатические условия его весьма различны и в значительной мере определяются разнообразием рельефа. В равнинной части района среднегодовая температура воздуха по данным метеостанции Черемхово равна – 1,4° С.Сумма положительных температур

воздуха более  $10^{\circ}$  составляет  $1634^{\circ}$ . Продолжительность безморозного периода 105 дней. Годовая сумма осадков здесь более 300 мм, причем максимум их приходится на июль-август, начало вегетационного периода характеризуется засушливостью. Средние летние коэффициенты увлажнения равны 0,65. Высота снежного покрова изменяется по территории от 60-80 см в горах до 20-40 см в пределах Иркутско-Черемховской равнины. Многолетняя мерзлота мощностью до 40 м встречается лишь в горной части района (Беркин, 1993).

Отмечаются достаточно продолжительные морозные и малоснежные зимние периоды. Средние температуры в январе  $-26...-27^{\circ}$  С. Нередки понижения до  $-35...-40^{\circ}$  С. Минимальные значения составляли  $-53^{\circ}$  С. Зимой преобладает малооблачная и сухая погода. Снежный покров уверенно формируется в конце октября, к концу марта высота покрова достигает 35-40 см. Весна протекает на фоне неустойчивой погоды, сопровождается значительными ночными заморозками, которые способны возникать вплоть до начала июня.

Летний период в начальной стадии всегда теплый и солнечный, во второй половине преобладает пасмурная и дождливая погода, это во многом связано с активацией циклонической деятельности. Средние температуры в июле  $+18...+19^{\circ}$  С. Возможны дни, когда воздух прогревается в тени и до  $+35^{\circ}$  С. По многолетним наблюдениям основное количество ливневых дождей и гроз приходится на конец июля и первую половину августа (Погодные нормы и условия в Черемховском районе).

Показатели среднемесячных температур за годы проведения исследований (2011-2013 гг.) по данным метеостанций в г. Черемхово и в г. Иркутске приведены в таблице 1.

Среднемесячное количество осадков за период исследований (2011-2013 гг.) по данным метеостанций в г. Черемхово и г. Иркутск представлено в таблице 2.

Таблица 1 – Среднемесячные показатели температур воздуха за 2011-2013 гг. по данным метеостанций в г. Черемхово и г. Иркутске, °С

Метеостанция		Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
2011													
Черемхово	сред.	-23,3	-14,6	-6,4	4,8	8,9	18,4	16,9	16,0	7,9	3,9	-10,1	-15,9
	max	-20,6	-10,9	-1,5	11,8	14,7	24,6	22,8	21,6	14,0	9,5	-6,2	-12,9
	min	-25,8	-18,1	-10,6	-0,4	3,2	12,3	11,7	11,2	2,9	-0,7	-13,3	-18,8
Иркутск	сред.	-21,9	-13,4	-5,2	5,5	9,7	18,6	17,3	16,4	8,8	4,6	-8,2	-15,1
	max	-17,5	-6,7	1,5	13,4	16,5	26,3	24,5	22,7	15,6	11,1	-2,9	-11,2
	min	-25,2	-18,5	-10,7	-0,4	3,4	11,8	11,6	11,5	3,5	-0,1	-12,1	-18,5
2012													
Черемхово	сред.	-21,7	-17,5	-8,9	1,5	9,4	16,9	17,1	14,3	10,2	-1,1	-11,1	-24,4
	max	-18,8	-14,1	-4,6	6,7	16,4	23,0	21,7	19,6	16,7	3,2	-6,8	-20,2
	min	-24,5	-20,8	-13,2	-2,2	3,8	10,9	13,4	10,3	5,1	-4,8	-15	-27,8
Иркутск	сред.	-20,3	-16,1	-7,2	3,0	10,0	17,3	18,3	15,0	11,3	0,9	-9	-22,2
	max	-16,0	-10,7	-0,1	9,7	17,4	24,1	24,1	21,0	19,1	6,2	-4,5	-17,8
	min	-23,6	-20,4	-12,9	-1,7	4,0	11,3	13,7	10,5	4,8	-3,1	-13,0	-25,2
2013													
Черемхово	сред.	-20,5	-18,4	-9,1	1,8	9,1	14,9	17,3	17,2	7,4	-	-	-
	max	-16,0	-12,9	-2,7	8,8	18,8	22,2	24,7	24,9	13,3	-	-	-
	min	-24,0	-23,0	-13,4	-3,0	3,2	10,1	12,2	12,1	3,1	-	-	-
Иркутск	сред.	-19,0	-16,9	-7,4	2,6	9,5	15,6	18,3	18,2	8,4	-	-	-
	max	-14,1	-10,4	-0,7	83,9	17,8	23,9	25,2	24,7	15,1	-	-	-
	min	-22,6	-21,6	-12,2	-2,8	2,9	6,3	12,6	12,8	3,8	-	-	-

Таблица 2 – Среднемесячное количество осадков в 2011-2013 гг. по данным метеостанций г. Черемхово и г. Иркутск, мм

Метеостанция	Январь	Февраль	Март	Апрель	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	Октябрь	Ноябрь	Декабрь
2011												
Черемхово	11,3	3,9	9,4	28,7	15,6	26,8	96,7	47,3	33,4	27,7	3,6	24,6
Иркутск	17,0	7,0	13,4	59,4	17,7	41,2	112,6	66,2	19,8	35,9	7,4	24,9
2012												
Черемхово	18,7	14,5	4,4	26,5	41,8	37,1	114,4	101,3	44,7	38,0	5,8	17,1
Иркутск	20,7	22,9	6,0	62,0	50,4	22,0	150,0	49,4	25,4	29,8	18,0	21,0
2013												
Черемхово	4,9	4,1	6,8	11,0	29,5	110,1	35,1	33,3	52,1	-	-	-
Иркутск	10,4	4,4	7,1	15,2	48,3	59,5	59,9	29,8	45,1	-	-	-

В качестве показателя теплообеспеченности используется сумма активных температур воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$  (рис. 5).

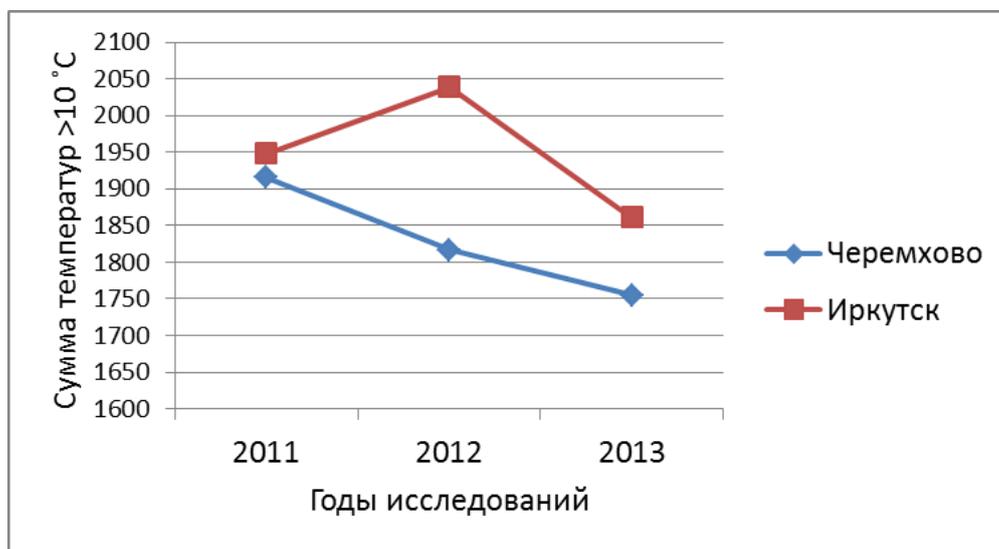


Рисунок 5 – Суммы активных температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  за период исследований (2011-2013 гг.) по данным метеостанций в г. Черемхово и г. Иркутске

Данные представленные на рисунке 5 свидетельствуют о благоприятных температурных условиях для произрастания растений, как в Черемховском, так и в Иркутском районе. Сумма температур выше  $10^{\circ}\text{C}$  была больше среднееголетнего значения, что говорит о достаточной теплообеспеченности растений в период исследований (2011-2013 гг.).

Влагообеспеченность характеризуется гидротермическим коэффициентом (ГТК). ГТК – показатель увлажненности территории, установленный советским климатологом Г.Т. Селяниновым. Численно он равен отношению суммы осадков (мм) за период со среднесуточными температурами воздуха выше  $10^{\circ}\text{C}$ , к сумме температуры за это же время уменьшенной в 10 раз. Увлажнение территории считается оптимальным, если ГТК равен 1-1,5; если выше 1,5 то увлажнение избыточное, если ниже 1, то недостаточное. ГТК для Черемховского и Иркутского районов представлены на рисунке 6.

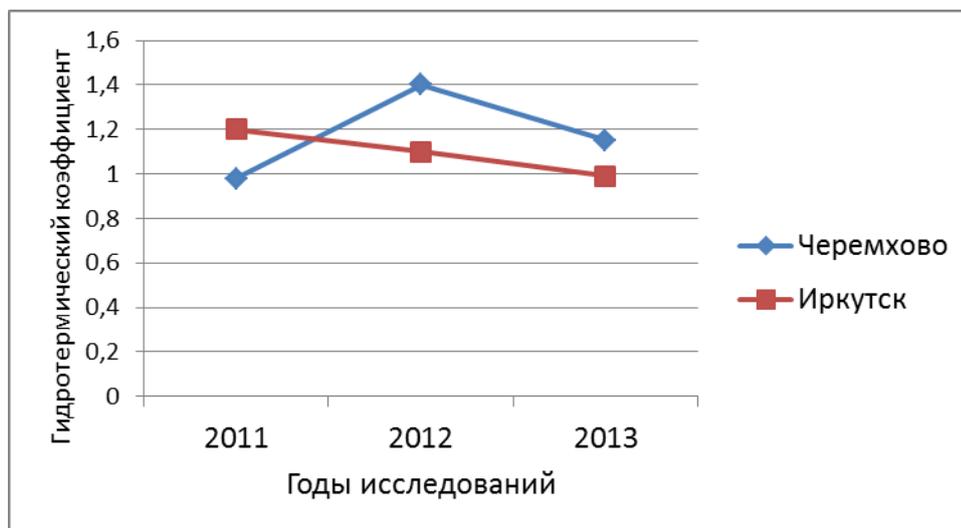


Рисунок 6 – Гидротермические коэффициенты за годы исследований (2011-2013 гг) в Иркутском и Черемховском районах

ГТК во все годы исследований как в Черемховском, так и в Иркутском районах был выше единицы или незначительно ниже этого значения. В 2011 году в Черемховском районе ГТК был несколько ниже единицы (0,98), что связано с меньшим выпадением осадков в весенне-летний период (табл. 2). В 2013 году в Иркутском районе ГТК был также незначительно ниже единицы (0,99) на что повлияло меньшее выпадение осадков в августе (табл. 2).

В целом влагообеспеченность растений за период исследований (2011-2013 гг.) была оптимальной, засушливости, которая бы повлияла на рост и развитие растений не наблюдалось.

## 2.2. Эдафические условия

По агропочвенному районированию Черемховский район Иркутской области входит в Иркутско-Черемховскую лесостепную зону. Лесостепная часть области является главной сельскохозяйственной базой Иркутско-Черемховского и Братско-Тайшетского промышленных комплексов, в почвенном покрове

которой доминируют серые лесные преимущественно оподзоленные, дерново-карбонатные и черноземные почвы (Мартынова, 1979).

Большое разнообразие природных условий способствует формированию как горных, так и равнинных типов почв. Почвообразующими породами являются элювий и делювий основных и кислых кристаллических пород, делювий песчаников.

В нижней части склонов и на подгорной равнине в западной части района представлены дерново-карбонатные оподзоленные и дерново-подзолистые, а к востоку от р. Олот – дерново-карбонатные выщелоченные почвы (Беркин, 1993).

Дерново-карбонатные почвы развиваются на карбонатных породах, под различными травяными и мохово-травяными лесами. По глубине залегания карбонатов выделяются их подтипы. К типичным относятся почвы, вскипающие в гумусовом горизонте, к выщелоченным – ниже его, а в оподзоленных карбонаты содержатся в нижней части иллювиального горизонта или в породе (Корзун, 1979).

По гранулометрическому составу эти почвы представлены средними и тяжелыми суглинками. Они обладают высокой влагоемкостью и характеризуются хорошей воздухообеспеченностью.

Дерново-карбонатные почвы считаются высокоплодородными, так как характеризуются хорошими агрохимическими свойствами. В типичных дерново-карбонатных почвах рН солевая пахотного горизонта – 7,0-7,2; вниз по профилю она увеличивается, достигая в материнской породе 7,4-7,9. В дерново-карбонатных выщелоченных рН пахотного горизонта – 6,0-6,4, переходного горизонта – 6,8-7,1 и материнской породы – 7,4-7,9.

В пахотном горизонте дерново-карбонатных почв содержится от 4 до 10 % гумуса (Житов, 2004).

В пределах Иркутско-Черемховской равнины положительных элементах рельефа, средних и нижних частях склонов наиболее распространены комплексы серых лесных почв.

Серые лесные почвы формируются на четвертичных преимущественно суглинистых отложениях, генетически связанных с юрскими песчаниками и сланцами, и частично на карбонатном делювии. Естественная растительность на них представлена сосновыми, лиственнично-сосновыми или мелколиственными травяными лесами (Корзун, 1979).

Серые лесные почвы имеют три подтипа: светло-серые (содержание гумуса менее 3%), серые (3-5 %) и темно-серые (5-8 %) (Житов, 2004).

Серые и темно-серые лесные почвы обладают ярко выраженной зернистой или зернисто-комковатой структурой и хорошими физическими свойствами. По содержанию гумуса (5-7%), его качеству и мощности перегнойного горизонта (до 30см), они отличаются высоким естественным плодородием и приближаются к выщелоченному чернозему.

Выщелоченные черноземы считаются плодородными почвами со следующими агрохимическими характеристиками: содержание гумуса 5 – 10 %, реакция почвенного раствора – слабокислая, степень насыщенности почв основаниями высокая до 90 %. По гранулометрическому составу преобладают средне- и тяжелосуглинистые разности (Житов, 2004).

### 3. ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

#### 3.1. Объекты исследований

Исследования проводились в МО г. Свирск и в п. Молодежном Иркутского района в 2007 – 2013 гг.

Объектами исследований были целинные и используемые (окультуренные) земельные участки, расположенные как в черте города Свирска, так и в его пригородной зоне, обозначенные на схеме (рис.7) как 1, 2, 3, 7 (садово-огородные), 4, 5, 6 (целинные). Размер целинных участков 5\*5 м, площадь – 25 м<sup>2</sup>, площадь огородных участков составляла 6 соток. Участки 1, 2, 3, 4 и 5 располагались по розе ветров, участки 6 и 7 – против направления господствующих ветров относительно территории бывшего АМЗ. Участок 1 расположен в 1 км от бывшего АМЗ и в 1,5 км от р. Ангары, 2 – в 1,5 км от АМЗ и в 1 км от р. Ангары, 3 – в 5 км, 4 – в 1 км, 5 – в 5 км, 6 в 1 км, 7 – 5 км от АМЗ.

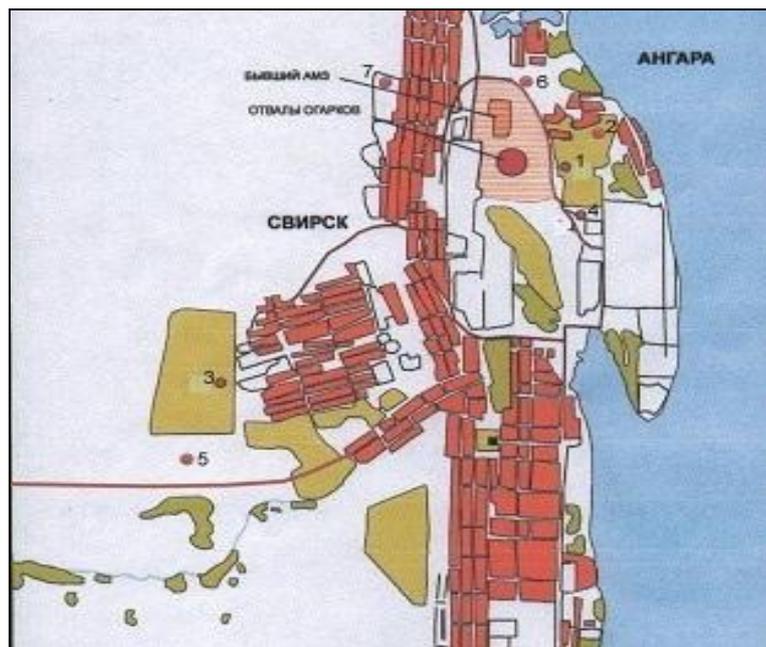


Рисунок 7 – Схема расположения участков отбора почвенных и растительных образцов в МО г. Свирск



Рисунок 8 – Целинный участок 4, расположенный в МО г. Свирск Иркутской области

Одновременно были проведены исследования на незагрязненных (контрольных) участках, расположенных на опытном поле Иркутской ГСХА и на приусадебном участке в п. Молодежном Иркутского района и обозначались 1к (полевой) и 2к (садово-огородный).



Рисунок 9 – Полевой контрольный участок (2к), расположенный на опытном поле ИрГСХА в п. Молодежный

Тип почвы на участках 3, 5 и 7 – дерново-карбонатная, на участках 1, 2, 4, 6 – выщелоченный чернозем, на контрольных участках 1к и 2к – серая лесная.

Агрохимические характеристики почв исследуемых участков приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Агрохимические показатели почв участков исследований

Номер участка	Тип почвы	Глубина отбора, см	pHсол.	Подвижный фосфор, мг/кг		Обменный калий, мг/кг		М.д. органического вещества, %
				Мачигин	Кирсанов	Мачигин	Кирсанов	
1	выщелоченный чернозем	0-20	7,0	129	-	535	-	7,6
		20-40	7,0	113	-	440	-	7,3
2	выщелоченный чернозем	0-20	6,7	85	-	235	-	5,3
		20-40	6,7	80	-	175	-	4,5
4	выщелоченный чернозем	0-20	7,3	90	-	370	-	5,8
		20-40	7,2	80	-	250	-	5,9
5	дерново-карбонатная	0-20	7,2	37	-	430	-	7,3
		20-40	7,2	20	-	235	-	5,6
1к	серая лесная	0-20	4,9	-	271	-	75	2,4
		20-40	4,7	-	272	-	70	2,3
2к	серая лесная, окультуренная	0-20	6,6	250	-	600	-	7,2
		20-40	5,6	-	460	-	210	4,5

Объектами исследований были следующие растения: кострец безостый (*Bromopsis inermis*), пырей ползучий (*Elytrigia repens*), люцерна посевная (*Medicago sativa*), рапс (*Brassica napus*), эспарцет (*Onobrychis orenaria*). Аналогичные растения выращивались на опытном поле ИрГСХА на участке 1к (контроль). На участке 6, возделывался картофель (*Solanum tuberosum*), а на садово-огородных участках 1, 2, 3, 2к (контроль) выращивались овощные и зеленые культуры: морковь (*Daucus carota*), капуста белокочанная (*Brassica oleracea*), картофель (*Solanum tuberosum*), свекла (*Beta vulgaris*), томаты (*Solanum lycopersicum*), огурцы (*Cucumis sativus*), укроп (*Anethum graveolens*), петрушка на зелень (*Petroselinum*), лук на зелень (*Allium*), а так же плодово-ягодные кустарники, такие как слива домашняя (*Prunus domestica*), смородина черная (*Ribes nigrum*).

## **3.2. Методы отбора почвенных и растительных образцов**

Отбор почвенных образцов производился в конце вегетационного периода в слое почвы 0-20 и 20-40 см. Отбор проводился согласно ГОСТ 17.4.4.02-84 с площадок квадратной формы (5\*5 м) методом почвенного конверта. Пробы отбирались пластмассовым шпателем в четырех крайних точках и одной центральной. Средняя проба с каждого слоя была массой около 1 кг.

Растительные образцы отбирались в конце вегетационного периода в фазе полной спелости. С целинных участков отбор производился со всей площади исследуемого участка. На садово-огородных участках отбирались все виды возделываемых на них культурных растений. Масса растительного образца составляла 1 кг. У многолетних и однолетних трав отбиралась надземная зеленая масса. У овощных растений отбиралась хозяйственно-полезная часть растения, используемая в продовольственных целях.

Почвенные и растительные образцы помещались в пакеты, снабжались этикетками и отправлялись в аккредитованную испытательную лабораторию ФГБУ «ЦАС «Иркутский».

## **3.3. Методы исследований**

Воздушно-сухие почвенные образцы измельчались, просеивались через сито 1мм, после чего в них были определены следующие 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 тяжелых металлов – атомно-

абсорбционным методом (РД 52.18.191-89); подвижные формы тяжелых металлов – атомно-абсорбционным методом (РД-52.18-289-90).

В высушенных и размолотых растительных образцах определялись содержания тяжелых металлов: Cu, Zn, Pb, Cd, атомно-абсорбционным методом согласно ГОСТ 30178-96, As согласно ГОСТ 26930-86 и Hg согласно МУ 5178-90 МЗ СССР.

### **3.4. Методика оценки степени опасности загрязнения почвы, здоровья населения и миграционной способности токсикантов в системе почва-растения**

Поскольку используемая для оценки загрязнения почв система ПДК, основанная на сравнении содержания элементов в почвах с предельными значениями, разработанными в экспериментах на песчаном субстрате, не учитывает свойств реальных почв, в которых фоновое содержание ряда элементов (в основном относимых к ТМ) может превышать существующие ПДК. Еще одним заметным недостатком данной системы являются проблемы оценки степени загрязнения веществ, влияние которых в комплексе может быть существенным, даже если концентрация каждого из них будет несколько ниже ПДК (Титова, 2004). Поэтому степень опасности загрязнения и здоровья населения МО г. Свирск проводилась в зависимости от характера землепользования, согласно «Методическим указанием по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами» (Методические указания, 1987). Показатели фонового содержания ТМ в различных типах почв, являющиеся основой расчета коэффициента концентрации элемента, оценки степени опасности загрязнения почв и показателей здоровья населения брались по В.П. Герасименко (2009). Расчеты производились по следующим формулам:

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

где:  $Z_c$  – суммарный показатель загрязнения;

$n$  – число суммируемых элементов;

$K$  – коэффициент концентрации, равный отношению содержания элемента в почве к фоновому содержанию этого элемента.

Для оценки миграции ТМ и мышьяка в системе почва-растение были рассчитаны коэффициенты накопления (КН), равные отношению концентрации загрязнителя в тканях растения к концентрации его в окружающей среде (почве) (Кузнецов, 2010).

Полученные результаты были статистически обработаны.

## **4. ОЦЕНКА ЗАГРЯЗНЕНИЯ ПОЧВЕННОГО И РАСТИТЕЛЬНОГО ПОКРОВА ТЯЖЕЛЫМИ МЕТАЛЛАМИ И МЫШЬЯКОМ В МО Г. СВИРСК И ПРИЕМЫ ИХ ДЕТОКСИКАЦИИ**

Состояние почв – интегральный индикатор многолетнего процесса загрязнения ОС, дающий представление о качестве жизнеобеспечивающих сред – атмосферного воздуха и вод. Загрязненные почвы сами являются источником вторичного загрязнения приземного слоя воздуха, поверхностных и грунтовых вод, растительности. Таким образом, почвы представляют тройной интерес: как начальное звено пищевой цепи, как источник вторичного загрязнения атмосферы и гидросферы и как интегральный показатель экологического состояния ОС (Литвинов, 2000).

### **4.1. Оценка загрязнения почвенного покрова МО г. Свирск тяжелыми металлами и мышьяком и состояния здоровья населения**

Оценка опасности загрязнения почв наблюдаемых участков проводилась в зависимости от характера землепользования согласно «Методическим указанием по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами» (Методические указания, 1987).

Анализ содержания валовых форм ТМ и радионуклидов в почвах на участках 6 и 7 представлен в таблице 4.

Определение уровня загрязнения валовыми формами ТМ проводилась с целью оценки опасности загрязнения почвы населенных пунктов для здоровья

населения. Для этого был рассчитан суммарный показатель загрязнения почв исследуемых участков по 6 основным поллютантам (As, Pb, Cu, Zn, Ni, Cd), так как совместное воздействие их на здоровье человека усиливается.

Таблица 4 -Содержание валовых форм тяжелых металлов, мышьяка и радионуклидов в почвах участков 6 и 7

Участок исследования	Содержание валовых форм тяжелых металлов, мг/кг										Содержание радионуклидов, Бк/кг		мощность дозы гамма излучения мкР/ч
	Zn	Cd	Ni	Co	Pb	Cu	As	Hg	Mn	Fe	Cs137	Sr90	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2007													
6	156	0,78	50,4	10,6	192	108	42,0	0,25	470	22600	3,28	0,7	9
7	57	0,45	37,5	8,9	23	14	18,5	0,02	343	14100	3,04	1,58	5,9
2008													
6	136	0,73	35,7	8,2	346	248	15,4	0,4	348	31900	0,46	1,16	9
7	69	0,51	37,5	8,4	19	18	8,7	0,02	467	17600	3,63	0,93	5,9
2009													
6	128	0,58	45,3	7,8	159	146	64,0	0,05	585	28600	2,03	0,71	9
7	59	0,66	39,6	9,9	27	15	11,2	0,03	357	16800	2,52	0,43	5,9
2010													
6	158	0,78	40,3	7,9	158	152	66,0	0,29	520	18200	4,67	0,73	9,9
7	67	0,45	38,2	11,0	20	15	14,9	0,02	496	13700	2,5	0,37	7,3
ГН 2.1.7.2042-06	220	2	80	-	130	132	2-10	2,1	1500	-	-	-	-

Результаты расчетов приведены в графике (рис. 10).

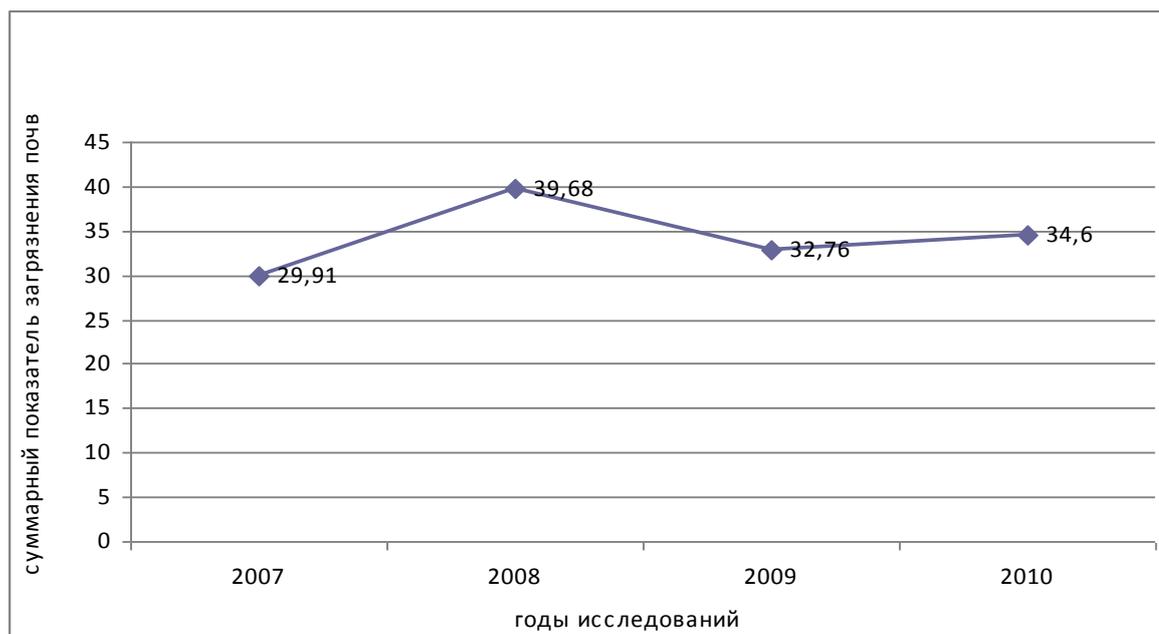


Рисунок 10 – Суммарный показатель загрязнения почвы на участке 6

Расчеты показали, что почва участка 6 относится к категории – опасной для проживающего населения. Согласно предложенных и принятых нормативов, представленный уровень загрязнения почв изученными поллютантами приводит к увеличению общей заболеваемости людей, нарушениям функционального состояния сердечно-сосудистой системы, увеличению числа часто болеющих детей и детей с хроническими заболеваниями (прил. 3).

Почвы на участке 7 используются для выращивания сельскохозяйственных культур, поэтому основой для оценки опасности загрязнения почв этого участка являлся транслокационный показатель вредности. Опасность загрязнения почв, используемых для выращивания сельскохозяйственных растений, определялась в соответствии с нормативами, приведенными в приложениях 1 и 2.

Содержание ТМ в почвенном покрове на участке 7 не превышало ориентировочно допустимых концентраций (ОДК). Выявлено загрязнение почвы валовыми формами мышьяка, содержание которого значительно превышало транслокационный показатель вредности. Исходя из этого, участок 7 отнесен нами к категории - высоко опасный для здоровья населения. Возможность использования этого участка для возделывания сельскохозяйственных культур ограничена. Он пригоден только для возделывания технических культур и растений-толерантов, пищевые цепи которых заблокированы от потребления и усвоения тяжелых металлов. При выращивании на этих почвах растений, – используемых в пищевых и кормовых целях необходим обязательный контроль содержания токсикантов в этих растениях.

Проведенные исследования показали, что почвенный покров целинного участка 6 был в большей степени подвержен мышьяковому загрязнению, чем почвы обрабатываемого участка 7. Помимо этого участок 6 был загрязнен свинцом, медью, цинком, кадмием и никелем.

Отмечалась значительная пространственная изменчивость содержания ТМ и мышьяка в почвах исследуемых участков. Степень загрязнения была обусловлена месторасположением этих участков, относительно АМЗ и аккумуляторного завода, а также направлением господствующих ветров.

Содержание радионуклидов в почвах и радиационный фон почв не превышали фоновых значений.

Результаты исследований содержания подвижных форм ТМ на участках 6 и 7 приведены в таблице 5.

Таблица 5–Содержание подвижных форм тяжелых металлов и водорастворимого фтора в слое 0-20 см на участках 6 и 7

Участок исследования	Содержание токсичных элементов, мг/кг						
	Zn	Cd	Ni	Co	Pb	Cu	F
2007							
6	19,24	0,27	2,25	0,43	16,87	3,01	4,15
7	2,61	0,12	2,23	0,65	4,53	0,50	1,58
2008							
6	17,34	0,24	2,07	0,26	19,94	9,76	4,87
7	0,71	0,09	1,25	0,14	1,48	0,30	4,05
2009							
6	2,73	0,10	0,94	0,12	6,56	0,49	5,59
7	1,22	0,22	2,00	0,49	3,91	0,57	2,33
ПДК	23	0,5	4	5	6	3	10

Представленные данные свидетельствуют о высоком содержании в почвах участка 6 подвижных форм свинца и меди, превышающих ПДК. Загрязнение свинцом достигало 3 ПДК и соответствовало 5 группе загрязнения. Загрязнение на уровне 5 группы может привести к гибели растительности, изменению химического состава верхнего слоя почвы. Загрязнение подвижной медью достигало 3 ПДК. Загрязнение цинком, кадмием и никелем находилось на уровне 2 группы. Загрязнение ТМ на уровне 2 группы влияет на подавление биологической активности почв и биохимических процессов (ферментативная система, нитрификационная деятельность и др.).

На участке 7 загрязнение подвижными формами ТМ, превышающее ПДК, не выявлено. На наш взгляд, резкое уменьшение степени загрязнения почвенного покрова ТМ связано с интенсивной обработкой используемых земель и их удаленностью от очага загрязнения.

Для более полной оценки состояния загрязнения почвенного покрова МО г. Свирск были проведены исследования на участках 4; 5 и 1к.

Результаты проведенных аналитических исследований представлены в таблице 6.

Таблица 6 – Содержание валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в почвах на целинных участках 4; 5 и на контрольном участке 1к

Место отбора / номер участка	Тип почвы	Глубина отбора, см	Валовые формы тяжелых металлов, мг/кг								As, мг/кг	Hg, мг/кг
			Pb	Cd	Ni	Zn	Mn	Cu	Co	Fe		
2011												
г. Свирск/ 4	Вышел. чернозем	0-20	169,7	0,55	31,3	105,6	467	83,20	-	25300	432,0	0,100
		20-40	20,62	0,37	31,2	60,2	455	18,06	-	26800	172,0	0,015
п. Молодежный/ 1к	Серая лесная	0-20	11,25	0,31	25,8	56,6	502	11,45	-	29500	4,1	0,010
		20-40	11,72	0,32	29,7	59,8	487	11,32	-	28300	4,9	0,010
НСР 0,5		0-20	13,48	-	-	-	-	-	-	-	8,35	-
		20-40	7,04	-	-	-	-	-	-	-	8,49	-
2012												
г. Свирск/ 4	Вышел. чернозем	0-20	120,0	0,38	41,3	90,3	400	82,50	7,74	18000	135,0	0,083
		20-40	21,80	0,54	38,2	55,8	385	18,90	8,60	13500	41,0	0,024
г. Свирск/ 5	Дерново-карб.	0-20	14,06	0,32	41,4	65,7	490	18,38	7,74	19300	8,6	0,022
		20-40	14,77	0,38	44,5	65,2	485	17,90	8,91	22500	8,6	0,017
п. Молодежный/ 1к	Серая лесная	0-20	12,19	0,30	38,3	69,0	555	15,44	7,97	22900	5,3	0,031
		20-40	8,44	0,28	32,0	53,0	408	11,75	8,75	17900	3,4	0,010
НСР 0,5		0-20	12,94	-	-	-	-	-	-	-	8,42	-
		20-40	6,29	-	-	-	-	-	-	-	5,84	-
2013												
г. Свирск/ 4	Вышел. чернозем	0-20	122,3	0,37	32,3	89,7	510	83,20	13,8	28670	199,5	0,099
		20-40	59,60	0,33	34,7	101,2	525	34,80	14,2	28300	192,0	0,095
г. Свирск/ 5	Дерново-карб.	0-20	18,10	0,31	34,7	71,5	540	17,80	12,2	25400	9,6	0,018
		20-40	14,20	0,29	38,2	68,7	555	18,90	11,1	30700	10,7	0,016
п. Молодежный/ 1к	Серая лесная	0-20	12,90	0,42	34,3	58,5	373	13,86	13,2	37500	4,0	0,025
		20-40	10,78	0,37	32,8	59,8	562	14,25	12,8	36600	4,3	0,023
НСР 0,5		0-20	13,56	-	-	-	-	-	-	-	8,12	-
		20-40	6,62	-	-	-	-	-	-	-	6,41	-
ОДК			130	2	80	220	1500	132	-	-	10	2,1

Расчет суммарного показателя загрязнения показал (рис.11), что участок 4 характеризуется как опасный для человека и животных. Рассчитанный уровень загрязнения почв приводит к увеличению общей заболеваемости, нарушению функционального состояния сердечно-сосудистой системы, увеличению числа часто болеющих детей и детей с хроническими заболеваниями (прил. 3).

Почвы на участках 5 и 1к характеризуется как допустимо загрязненные. При комплексной оценке состояния здоровья следует отметить, что уровень

заболевания и частота функциональных отклонений взрослого населения минимальна, отмечается наиболее низкий уровень заболевания детей (прил. 3).

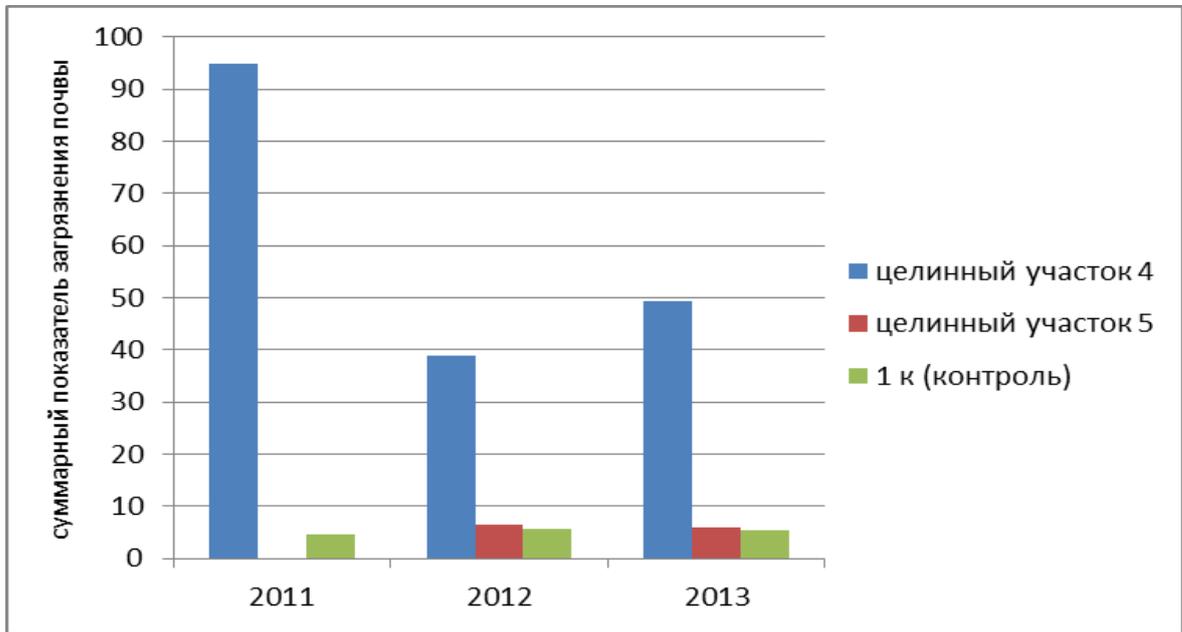


Рисунок 11 – Суммарный показатель загрязнения почв участков 4; 5 и 1к

Аналитические данные, представленные на рисунке 11 и в таблице 6, свидетельствуют о высокой степени мышьякового и свинцового загрязнения почв участка 4, где содержание валовых форм свинца и мышьяка в пахотном горизонте достигало 1,3 ОДК и 43,2 ОДК соответственно.

В почве на участке 5 содержание валовых форм тяжелых металлов не превышало ОДК, концентрация мышьяка составила 0,9 ОДК.

В почве контрольного участка содержание валовых форм ТМ не превышало ОДК.

Результаты исследований содержания подвижных форм ТМ на участках 4; 5 и 1к представлены в таблице 7.

Представленные данные свидетельствуют о том, что загрязнение почвы подвижными формами свинца на участке 4 достигало уровня 5 ПДК. Содержание подвижного кадмия в почве этого участка в 2013 г. соответствовало второй группе загрязнения. На участке 5 подпахотный почвенный слой загрязнен

подвижным свинцом на уровне второй группы. По всем остальным показателям, превышений ПДК не наблюдалось.

В почвенных пробах, отобранных на контрольном участке в п. Молодежном содержание подвижных форм ТМ не превышало ПДК.

Таблица 7 – Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвенных пробах отобранных на целинных участках 4; 5 и на контрольном участке 1к

Место отбора / номер участка	Тип почвы	Глубина отбора, см	Подвижные формы тяжелых металлов, мг/кг					
			Pb	Cd	Ni	Zn	Cu	Co
2011								
г. Свирск / 4	Выщелоченный чернозем	0-20	0,94	0,04	0,47	0,90	0,11	0,15
		20-40	1,56	0,10	1,09	2,36	0,28	0,24
п. Молодежный / 1к	Серая лесная	0-20	0,46	0,03	0,58	0,93	0,20	0,08
		20-40	0,47	0,05	0,81	1,41	0,19	0,08
НСП 0,5		0-20	0,42	-	-	-	-	-
		2-40	0,16	-	-	-	-	-
2012								
г. Свирск / 4	Выщелоченный чернозем	0-20	7,97	0,06	0,67	3,15	0,33	0,18
		20-40	5,33	0,06	1,75	1,33	0,48	0,89
г. Свирск / 5	Дерново-карбонатная	0-20	1,87	0,06	0,69	0,44	0,13	0,31
		20-40	2,97	0,06	0,67	0,50	0,14	0,44
п. Молодежный / 1к	Серая лесная	0-20	0,78	0,07	0,75	1,29	0,11	0,14
		20-40	0,78	0,04	0,67	0,53	0,14	0,13
НСП 0,5		0-20	1,21	-	-	-	-	-
		20-40	2,15	-	-	-	-	-
2013								
г. Свирск / 4	Выщелоченный чернозем	0-20	29,79	0,32	1,60	7,34	0,65	0,53
		20-40	29,08	0,26	1,76	9,30	0,51	0,61
г. Свирск / 5	Дерново-карбонатная	0-20	2,34	0,11	0,81	0,74	0,19	0,42
		20-40	2,35	0,17	0,90	0,67	0,21	0,47
п. Молодежный / 1к	Серая лесная	0-20	0,78	0,06	0,43	4,85	0,14	0,13
		20-40	0,47	0,03	0,53	3,36	0,14	0,15
НСП 0,5		0-20	0,62	-	-	-	-	-
		20-40	0,38	-	-	-	-	-
ПДК			3-6	0,21-0,50	2-4	10-23	1,5-3,0	2,5-5,0

Наблюдалась значительная пространственная изменчивость загрязнения почв исследуемых участков мышьяком и свинцом, что обусловлено месторасположением этих участков относительно основных источников загрязнения и направлением господствующих ветров.

Таким образом, почвенный покров МО г. Свирск загрязнен ТМ и мышьяком. Загрязнение мышьяком достигало 43 ОДК, а подвижным свинцом 5 ПДК. Суммарный показатель загрязнения почвенного покрова на участках 4 и 6 превышал значение – 32. По общепринятой градации эти почвы отнесены к опасным для здоровья населения и способствуют увеличению числа заболеваний.

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.

#### **4.2. Степень детоксикации загрязненных почв в результате их освоения и окультуривания**

Антропогенная деградация почв - одна из основных экологических проблем региона. Деградация почв может быть вызвана многими причинами. Одним из наиболее опасных воздействий на уровень плодородия является загрязнение ТМ.

Вопросы, касающиеся влияния основных агротехнических и агрохимических приемов окультуривания почвы на содержание ТМ еще недостаточно изучены. При разработке мероприятий по детоксикации загрязненных ТМ почв большой интерес представляет разработка мероприятий по снижению доступности токсических веществ для растений.

Очевидно, что ущерб, нанесенный загрязнением, будет в большей степени зависеть от свойств почвы, главным образом, от тех из них, которые влияют на подвижность тяжелых металлов и, как следствие, на их доступность растениям и на способность к миграции (Сергеева, 2000). При окультуривании свойства почв

изменяются под действием антропогенных факторов, что оказывает влияние на содержание и доступность ТМ в этих почвах.

Для изучения механизмом накопления, трансформации и детоксикации ТМ и мышьяка возникла необходимость произвести оценку степени загрязнения окультуренных почв, используемых для производства растениеводческой продукции, на которых применялись различные мелиоративные приемы.

Анализ содержания валовых форм ТМ и мышьяка в окультуренных почвах участков 1; 2; 3 и в почвах контрольного участка 2к представлен в таблице 8.

Таблица 8 – Содержание валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в почвах на садово-огородных участках 1; 2; 3 и контрольном участке 2к

Место отбора / номер участка	Тип почвы	Глубина отбора, см	Валовые формы тяжелых металлов, мг/кг							As, мг/кг	Hg, мг/кг	
			Pb	Cd	Ni	Zn	Mn	Cu	Co			Fe
2011												
г. Свирск / 1	Выщелоч. чернозем	0-20	70,2	0,38	27,4	93,7	360	23,02	-	23600	158	0,033
		20-40	35,87	0,40	31,3	73,0	492	19,41	-	22700	136	0,019
п. Молодежный/ 2к	Серая лесная	0-20	17,35	0,27	29,0	70,1	622	15,56	-	27000	3,9	0,024
		20-40	12,42	0,28	38,2	60,1	632	14,06	-	33100	3,9	0,026
НСП 0,5		0-20	8,41	-	-	-	-	-	-	-	4,16	-
		20-40	7,01	-	-	-	-	-	-	-	6,49	-
2012												
г. Свирск / 1	Выщелоч. чернозем	0-20	101,4	0,32	41,5	68,3	398	22,13	7,74	21000	44,5	0,056
		20-40	33,75	0,33	53,8	65,3	425	17,58	8,59	28000	29,5	0,039
г. Свирск / 3	Дерново-карбонат.	0-20	27,89	0,41	44,5	115,3	425	18,03	8,21	15500	11,2	0,061
		20-40	21,32	0,59	53,9	74,1	373	16,15	9,91	11200	7,1	0,026
п. Молодежный/ 2к	Серая лесная	0-20	9,14	0,23	24,1	65,1	298	15,03	6,10	13100	3,4	0,021
		20-40	10,31	0,28	32,0	63,2	375	15,50	7,26	19400	5,6	0,019
НСП 0,5		0-20	4,41	-	-	-	-	-	-	-	7,77	-
		20-40	4,56	-	-	-	-	-	-	-	6,12	-
2013												
г. Свирск / 1	Выщелоч. чернозем	0-20	96,5	0,31	28,9	116,2	500	28,60	14,2	22400	141,0	0,057
		20-40	78,5	0,32	31,2	96,2	525	25,90	12,3	24100	141,0	0,042
г. Свирск / 2	Выщелоч. чернозем	0-20	56,1	0,29	18,5	110,2	230	15,80	14,2	9200	49,0	0,051
		20-40	46,5	0,30	24,6	102,8	245	15,90	12,8	10140	43,0	0,037
п. Молодежный/ 2к	Серая лесная	0-20	12,43	0,28	27,8	66,6	490	13,92	11,0	26800	4,57	0,025
		20-40	11,48	0,30	23,5	63,7	547	13,92	10,9	29700	4,41	0,022
НСП 0,5		0-20	6,28	-	-	-	-	-	-	-	6,72	-
		20-40	4,36	-	-	-	-	-	-	-	5,44	-
ОДК			130	2	80	220	1500	132	-	-	10	2,1

Опасность загрязнения почв, используемых для выращивания сельскохозяйственных растений, определялась в соответствии с нормативами, приведенными в приложениях 1 и 2.

Для оценки опасности почв садово-огородных участков МО г. Свирск, используемых для выращивания продовольственных растений применялся транслокационный показатель вредности.

В почве участка 1 содержание мышьяка и свинца значительно превышало транслокационный показатель вредности, причем загрязненными оказались как пахотный (0-20 см), так и подпахотный (20-40 см) слои почвы. Эта почва загрязнена мышьяком, содержание которого в пахотном слое в 2012г. превышало ОДК в 4,4 раза, а в – подпахотном слое в 3 раза. В 2011г. этот показатель составлял 15,8 ОДК и 13,6 ОДК соответственно в пахотном и подпахотном слоях. Таким образом, транслокационный показатель вредности этих почв по мышьяку был превышен многократно, наблюдалось превышение уровней водного и общесанитарного показателей вредности, что позволяет отнести почву участка 1 к чрезвычайно опасной для здоровья человека. Такие почвы рекомендуется использовать для возделывания только технических культур или вообще исключить из сельскохозяйственного использования. В сельскохозяйственный оборот эти почвы можно включить только после проведения работ по их детоксикации (прил. 1, 2).

Почвенный покров участка 2 по сравнению с участком 1 в меньшей степени загрязнен исследуемыми токсикантами. Отмечено содержание свинца, превышающее транслокационный показатель вредности в 1,6 раз в пахотном слое и в 1,3 раза – в подпахотном. Транслокационный показатель загрязнения мышьяком почвы этого участка был превышен в 25 раз. Отмечалось превышение водного и общесанитарного показателей загрязнения мышьяком. В этой связи почву участка 2 следует отнести к категории чрезвычайно опасных почв (прил. 1).

В почве садово-огородного участка 3 отмечалось содержание мышьяка на уровне 1 ОДК. Транслокационный показатель загрязнения мышьяком этой почвы превышен в 5,6 раз (прил. 1,2).

Таким образом, почва участка 3 отнесена нами к высоко опасной. Рекомендуемое использование этой почвы – исключительно для выращивания технических культур или растений-толерантов, проявляющих «равнодушие» к

поллютантам и не накапливающих их в своей биомассе. Кроме того, необходима разработка и проведение мероприятий по снижению доступности токсикантов для растений, выращиваемых на этих почвах. Нами рекомендуется осуществить мероприятия, связанные с проведением контроля содержания токсикантов в растениях – продуктах питания и кормах. Для снижения токсического влияния на организм человека рекомендуется выращенную в этих условиях растениеводческую продукцию перемешивать с продуктами, выращенными на не загрязненной почве, ограничить использование зеленой массы на корм скоту.

Таким образом, окультуренные используемые почвы садовых участков МО г. Свирск загрязнены свинцом и мышьяком. Причем почвы на участках 1 и 2, которые находятся в садоводческом кооперативе, расположенном в 1 км от бывшего АМЗ загрязнены в большей степени, чем почва участка 3, находящегося на возвышенности над поймой.

В почвенных пробах, взятых на садовом участке в п. Молодежном, содержание валовых форм ТМ и мышьяка не превышало ОДК.

Результаты содержания подвижных форм ТМ и мышьяка в почвах на участках 1; 2; 3 и 2к представлены в таблице 9.

Представленные данные свидетельствуют о высоком содержании в почвах садово-огородного участка 1. подвижных форм свинца, превышающих ПДК. Свинцовое загрязнение пахотного слоя почв на этом участке достигло 3 ПДК и соответствовало пятой группе загрязнения. Загрязнение на уровне пятой группы может приводить к гибели растительности, изменению химического состава верхнего слоя почвы. Содержание свинца в подпахотном горизонте этого же участка находилось на уровне 1 ПДК.

В почве участка 2 отмечалось значительное загрязнение подвижным свинцом, содержание которого в слое 0-20 см соответствовало значению 2 ПДК.

На садово-огородном участке 3 пахотный горизонт загрязнен подвижным свинцом на уровне 1 ПДК. Отмечалось загрязнение пахотного слоя почвы цинком и подпахотного слоя никелем на уровне второй группы. При загрязнении ТМ на

уровне второй группы страдает почвенная микрофлора, подавляются биохимические процессы.

Таблица 9 – Содержание подвижных форм тяжелых металлов в почвах садово-огородных участков 1; 2; 3 и 2к

Место отбора / номер участка	Тип почвы	Глубина отбора, см	Подвижные формы тяжелых металлов, мг/кг					
			Pb	Cd	Ni	Zn	Cu	Co
2011								
г. Свирск / 1	Выщелоч. чернозем	0-20	0,93	0,08	0,83	5,81	0,24	0,44
		20-40	1,56	0,12	1,09	7,16	0,25	0,43
п. Молодежный/ 2к	Серая лесная	0-20	0,78	0,05	0,56	6,53	0,22	0,18
		20-40	0,46	0,03	0,47	3,11	0,25	0,15
НСР 0,5		0-20	0,12	-	-	-	-	-
		20-40	0,52	-	-	-	-	-
2012								
г. Свирск / 1	Выщелоч. чернозем	0-20	18,98	0,08	0,47	2,38	0,11	0,18
		20-40	6,41	0,08	0,59	0,94	0,09	0,17
г. Свирск / 3	Дерново-карбонат.	0-20	6,41	0,12	0,83	14,0	0,20	0,38
		20-40	2,67	0,18	2,08	7,87	0,38	1,08
п. Молодежный/ 2к	Серая лесная	0-20	0,78	0,03	0,67	5,62	0,10	0,15
		20-40	0,55	0,04	0,57	3,72	0,10	0,15
НСР 0,5		0-20	2,26	-	-	-	-	-
		20-40	2,10	-	-	-	-	-
2013								
г. Свирск / 1	Выщелоч. чернозем	0-20	8,01	0,17	0,74	7,03	0,14	0,26
		20-40	6,87	0,12	0,63	4,96	0,14	0,17
г. Свирск / 2	Выщелоч. чернозем	0-20	12,40	0,15	0,75	2,22	0,19	0,16
		20-40	9,38	0,08	0,58	1,55	0,21	0,14
п. Молодежный/ 2к	Серая лесная	0-20	1,09	0,06	0,75	3,00	0,14	0,18
		20-40	0,47	0,04	0,75	0,47	0,12	0,14
НСР 0,5		0-20	1,18	-	-	-	-	-
		20-40	0,86	-	-	-	-	-
ПДК			3-6	0,21-0,50	2-4	10-23	1,5-3,0	2,5-5,0

Содержание подвижных форм всех остальных исследуемых токсикантов в почвах не превышало ПДК.

В почвах контрольного участка содержание подвижных форм тяжелых металлов не превышало ПДК.

Влияние освоения и окультуривания почв на степень детоксикации ТМ и мышьяка прослеживается при сравнении степени загрязнения окультуренных и целинных почв. Для проведения сравнительного анализа уровня загрязнения

освоенных и целинных почв различными видами токсикантов нами были рассчитаны коэффициенты соотношения их содержания в почвах на участках 1 и 4. Эти участки находятся недалеко друг от друга и в одном направлении относительно бывшего очага загрязнения. Почвы этих участков относятся к одному типу и имеют приблизительно одинаковые агрохимические показатели. Расчеты производились на основе данных таблиц 6 и 8 для основных загрязнителей – As, Pb, Cu. Наглядно результаты этих расчетов представлены на следующих рисунках.

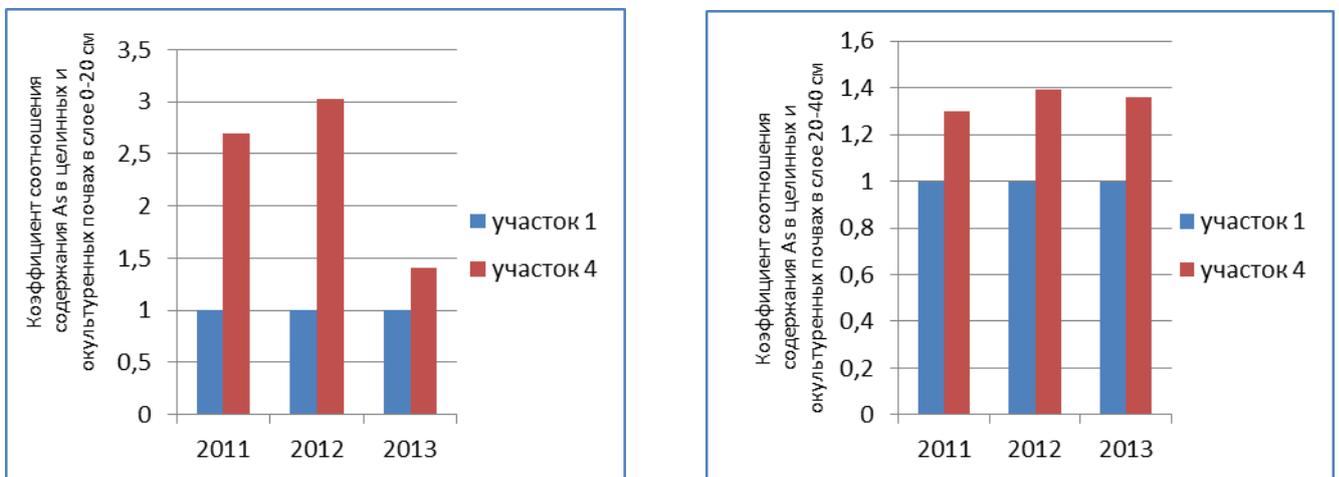


Рисунок 12 – Соотношение содержания мышьяка в почвенных слоях 0-20 и 20-40 см на участках 1 и 4

Данные рисунка 12 и таблиц 6 и 8 свидетельствуют о том, что целинные почвы по сравнению с окультуренными в большей степени загрязнены мышьяком. Содержание мышьяка в слое 0-20 см в целинных почвах в 1,4-3 раза превышало этот показатель в окультуренных, а в слое 20-40 см – в 1,3-1,39 раз. Как в целинных, так и в окультуренных почвах более загрязненными оказались верхние слои.

Загрязнение слоя 0-20 см свинцом в целинной почве было в 1,18-2,24 раза больше в сравнении с окультуренной почвой. Несколько изменилась ситуация с содержанием свинца в подпахотном горизонте. Этот слой в целинных почвах был менее загрязнен – в 1,54-1,74 раза, чем в окультуренных (рис. 13). Как в

целинных, так и в окультуренных почвах более загрязненным оказался слой 0-20 см.

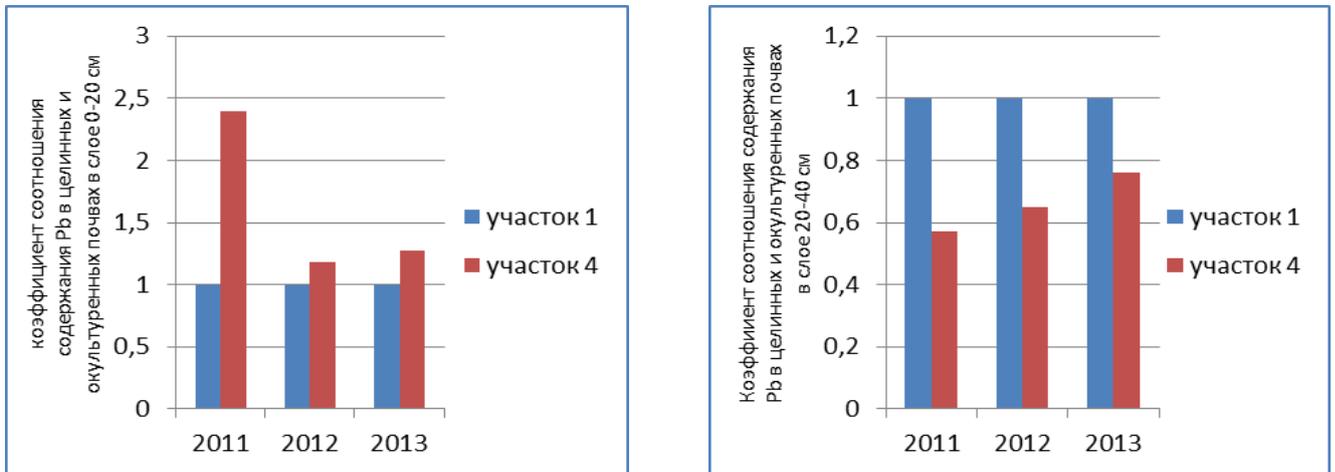


Рисунок 13 – Соотношение содержания свинца в почвенных слоях 0-20 и 20-40 см на участках 1 и 4

Содержание меди в слое 0-20 см в целинных почвах было в 2,91-3,73 раза больше, чем в окультуренных. Содержание этого токсиканта в слое 20-40 см, как в целинных, так и окультуренных почвах, находилось практически на одном уровне (рис. 14). Как в целинных, так и в окультуренных почвах большее содержание меди отмечалось в слое 0-20 см (табл. 6; 8).

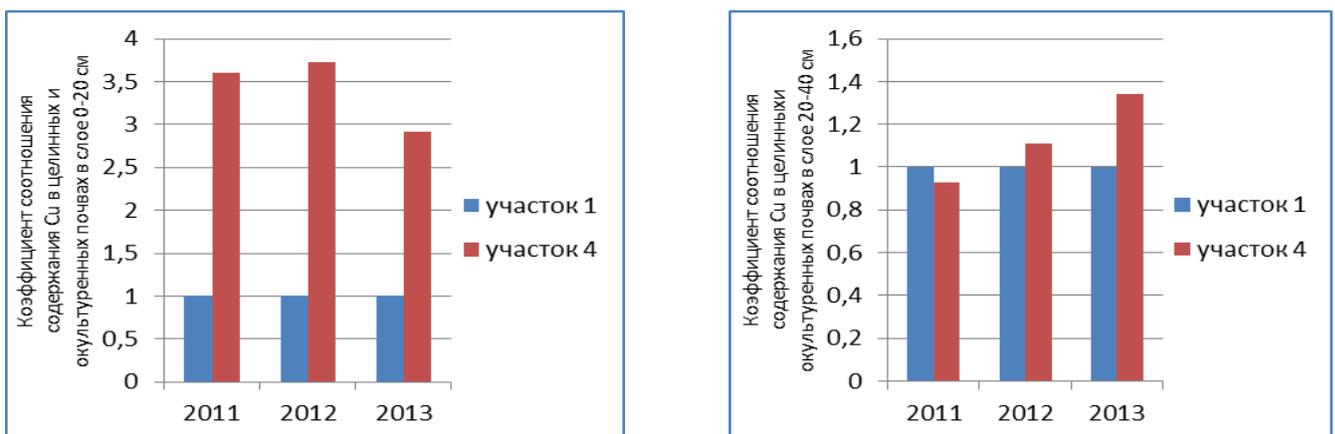


Рисунок 14 – Соотношение содержания меди в почвенных слоях 0-20 и 20-40 см на участках 1 и 4

Концентрация свинца в подпахотном слое (20-40 см) окультуренной почвы была несколько выше, чем в этом же слое целинной. Мы считаем, что это связано с тем, что в процесс выращивания культурных растений на садово-огородном участке вовлекается только пахотный слой (0-20 см), который подвергался различным видам обработки.

Таким образом, при сравнительном анализе степени загрязнения целинных и окультуренных почв нами прослежена устойчивая закономерность: большая загрязненность целинных почв по сравнению с окультуренными валовыми формами свинца, мышьяка и меди.

Мы считаем, что освоение, окультурирование почвы и применяемые агротехнические приемы при возделывании сельскохозяйственных культур на участке способствовали детоксикации почвенного покрова.

Кроме того, вовлечение в сельскохозяйственный оборот неиспользуемых целинных и заброшенных земель способствует тому, что загрязняющие вещества выносятся из почвы с основной и побочной продукцией возделываемых растений.

### **4.3. Изменение содержания тяжелых металлов и мышьяка в почвах и растениях в результате систематического применения органических удобрений**

По утверждению ряда авторов органические удобрения, которые вносятся в почву, оказывают положительное действие не только на физико-химические и биологические свойства почвы, но также способствуют детоксикации загрязненного почвенного покрова.

Известно, что свежее органическое вещество служит источником образования гумуса. Мы считаем, что снижение степени загрязнения почвы можно объяснить большим содержанием гумуса и питательных веществ, и в

первую очередь фосфора. Гумус и фосфор обладают способностью связывать токсичные элементы, поэтому содержание токсикантов в слое 0-20 см было выше (рис. 10-12). Помимо этого в МО г. Свирск имеет место атмосферное загрязнение почвенного покрова при переносе загрязнителей с воздушными потоками. Это способствует концентрации загрязнителей в верхних слоях почвы.

Для оценки поглотительной способности органического вещества в 2013 году были исследованы образцы перепревшего подстилочного навоза с участка 2. Результаты исследований приведены в таблицах 10 и 11.

Таблица 10 – Содержание валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в перегное с участка 2

	Год привоза на участок	Валовые формы тяжелых металлов, мг/кг							As, мг/кг	Hg, мг/кг
		Pb	Cd	Ni	Zn	Mn	Cu	Fe		
Перегной свежий	2013	26,5	0,31	14,8	163,2	235	33,31	4484	6,4	0,024
Перегной использованный	2012	55,3	0,28	18,1	105,4	232	15,33	9196	14,9	0,043
ОДК		130	2	80	220	1500	132	-	10	2,1

По данным, приведенным в таблице 10 перегной, использованный один сезон в парниках, был загрязнен мышьяком на уровне 1,5 ОДК. Перегной, завезенный на участок в 2013 г. не был загрязнен ТМ, однако начал накапливать мышьяк, и содержал его на уровне 0,6 ОДК, что говорит о превышении транслокационного показателя вредности в 3,2 раза. Помимо этого в перегное 2012 года отмечено накопление свинца выше транслокационного показателя вредности (прил. 2).

Таблица 11 – Содержание подвижных форм тяжелых металлов в перегное с участка 2

	Год привоза на участок	Подвижные формы тяжелых металлов, мг/кг					
		Pb	Cd	Ni	Zn	Cu	Co
Перегной свежий	2013	4,0	0,09	0,71	16,23	0,78	0,37
Перегной использованный	2012	12,1	0,09	0,59	7,63	0,29	0,31
ПДК		3-6	0,21-0,50	2-4	10-23	1,5-3,0	2,5-5,0

По данным таблицы 11 перегной 2012 года привоза был загрязнен подвижным свинцом на уровне 2 ПДК. Отмечалось загрязнение перегноя 2013

года свинцом и цинком на уровне второй группы, однако превышений ПДК подвижных ТМ в нем не выявлено. Загрязнение перегноя подвижным свинцом может быть связано с тем, что в нем идет активная минерализация органического вещества, при которой «связанные» элементы переходят в подвижные доступные для растений формы. Известно, что 70-80 % свежего органического вещества за 2-3 года полностью минерализуется и лишь 20-30 % превращается в гумус.

По итогам проведенных исследований выявлена тенденция активного поглощения органическим веществом основных загрязнителей природной среды г. Свирска (мышьяка и свинца). Это свойство органического вещества позволяет рекомендовать внесение его в почву для снижения поступления ТМ в растения.

С целью оценки санитарно-гигиенической роли органических удобрений был проведен сравнительный анализ загрязненных ТМ и мышьяком почв на двух садово-огородных участках в МО г. Свирск. Для анализа были выбраны участки 1 и 2. Участки 1 и 2 расположены в одном садоводстве, в одинаковом направлении относительно бывшего очага загрязнения, неподалеку друг от друга (рис. 7). На участке 2 в течение многих лет в почву ежегодно вносился перепревший навоз крупного рогатого скота (КРС) в норме около 30 кг/м<sup>2</sup>, в почвы на участке 1 органика вносилась в той же норме один раз в два года.

Содержание валовых форм ТМ и мышьяка представлено в таблице 12.

Таблица 12 – Содержание валовых форм тяжелых металлов и мышьяка в окультуренных почвах на участках 1 и 2

Номер участка	Тип почвы	Глубина отбора, см	Валовые формы тяжелых металлов, мг/кг						As, мг/кг	Hg, мг/кг	
			Pb	Cd	Ni	Zn	Mn	Cu			Fe
июнь 2013											
1	Выщелоч. чернозем	0-20	94,7	0,36	35,9	88,2	512	31,50	32756	124,5	0,036
		20-40	53,3	0,33	38,2	80,1	580	26,75	27132	101,5	0,029
2	Выщелоч. чернозем	0-20	90,7	0,33	28,7	126,2	500	29,98	22400	60,5	0,039
		20-40	74,7	0,33	32,8	94,6	525	25,87	24016	60,4	0,033
август 2013											
1	Выщелоч. чернозем	0-20	96,5	0,31	28,9	116,2	500	28,60	22400	141,0	0,057
		20-40	78,5	0,32	31,2	96,2	525	25,90	24100	141,0	0,042
2	Выщелоч. чернозем	0-20	56,1	0,29	18,5	110,2	230	15,80	9200	49,0	0,051
		20-40	46,5	0,30	24,6	10,8	245	15,90	10140	43,0	0,037
ОДК			130	2	80	220	1500	132	-	10	2,1

Наблюдалась тенденция меньшего загрязнения мышьяком и свинцом почвенного покрова на участке 2, где проводилось систематическое внесение органических удобрений, что наглядно представлено на рисунке 15.

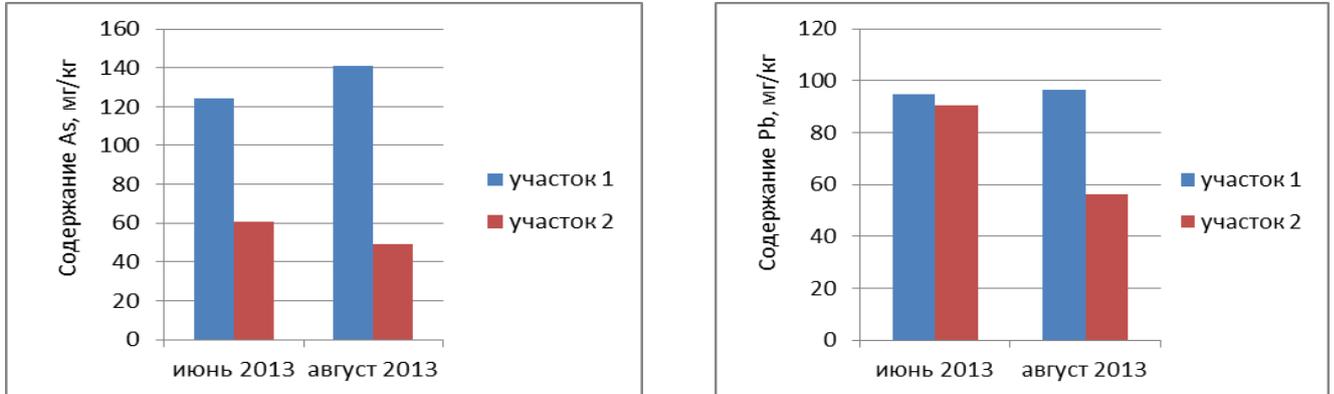


Рисунок 15 – Содержание валовых форм мышьяка и свинца в пахотном слое (0-20 см) почв участков 1 и 2

Соответственно содержание мышьяка в растительной продукции, произрастающей на почвах участка 1 и участка 2, отличалось (табл. 15). Наглядно содержание мышьяка в овощной продукции, отобранной на участках 1 и 2, представлено на рисунке 16.

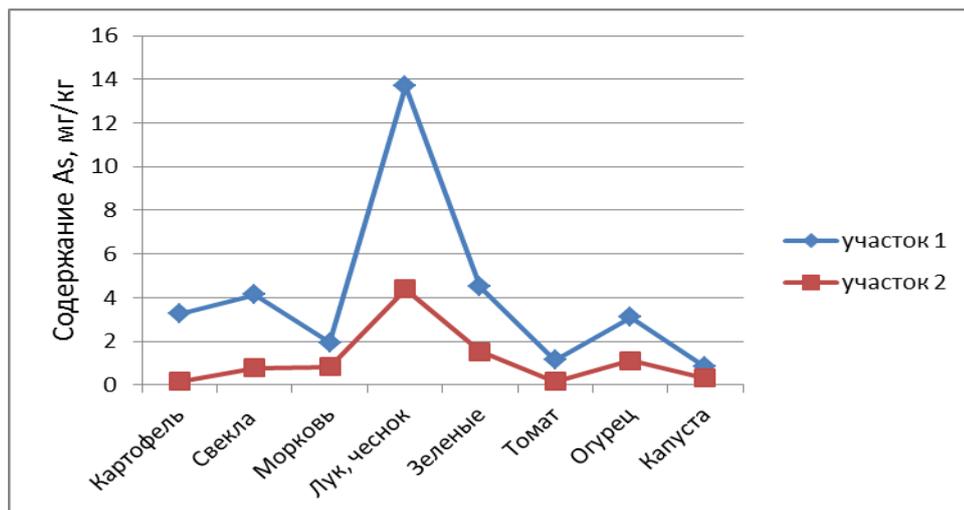


Рисунок 16 – Содержание мышьяка в растениях, произрастающих на участках 1 и 2

Данные рисунка 16 свидетельствуют о большем загрязнении овощной продукции, произрастающей на садово-огородном участке 1 в сравнении с

овощами, произрастающими на огородном участке 2, где в почву постоянно в течение длительного времени вносился перепревший навоз КРС.

Таким образом, при систематическом внесении органических удобрений в почву, происходило снижение содержания мышьяка не только в почве, но и в растениях, произрастающих на этой почве. Кроме этого в почвенном покрове под действием органических удобрений происходило снижение содержания свинца.

#### **4.4. Особенности накопления тяжелых металлов и мышьяка различными видами растений**

Среди живых организмов первичными аккумуляторами ТМ являются растения, поэтому необходимо иметь объективное представление о нормальных (фоновых) концентрациях данных элементов для наиболее распространенных представителей растительного мира и, прежде всего для тех, которые составляют основу пищевой и кормовой базы (Прохорова, 2004).

Известно, что накопление ТМ в организме человека осуществляется в основном за счет пищи. Среди пищевых продуктов наиболее загрязнены продукты растительного происхождения. Поэтому установление закономерностей поглощения и накопления ТМ растениями в конкретных почвенно-климатических условиях, а также распределение этих элементов в растениях, имеет не только теоретическое, но и практическое значение для прогнозирования уровней загрязнения и получения экологически безопасной продукции сельскохозяйственного производства (Котова, 2008).

Для более детального изучения закономерностей локации ТМ и мышьяка из загрязненных почв г. Свирска в растения, на них произрастающих, нами были изучены растительные образцы, отобранные на целинном участке 6 и огородном участке 7 в 2007-2009 гг. Результаты этих исследований приведены в таблице 13.

Таблица 13 – Содержание тяжелых металлов и мышьяка в исследуемых растениях

Наименование культуры	Номер участка отбора	Содержание токсикантов, мг/кг					
		Cu	Zn	Pb	Cd	Co	As
2007							
Кострец безостый (зел. масса)	6	1,36	18,07	0,92	0,08	0,43	0,50
Картофель (клубни)	7	1,15	4,93	0,15	0,03	0,16	0,05
Картофель (ботва)	7	3,56	10,52	3,62	0,15	0,96	0,11
2008							
Кострец безостый (зел. масса)	6	3,48	17,67	4,46	0,11	0,52	0,57
Картофель (клубни)	7	0,80	4,35	0,25	0,03	0,20	0,039
Картофель (ботва)	7	9,44	17,09	2,90	0,29	1,48	0,37
2009							
Кострец безостый (зел. масса)	6	2,20	18,59	1,48	0,08	0,65	0,99
Картофель (клубни)	7	0,89	3,84	0,04	0,014	0,08	0,015
Картофель (ботва)	7	1,69	4,47	0,92	0,05	0,52	0,063
МДУ		30	50	5,0	0,3	1,0	0,5

Анализ содержания ТМ в растениях свидетельствует о загрязнении надземной вегетативной массы костреца безостого мышьяком, произрастающего на почвах, значительно загрязненных мышьяком в пределах 1-2 ПДК и свинцом в пределах ПДК, что указывает на относительную устойчивость данного растения к накоплению тяжелых металлов.

Результаты исследований по степени загрязнения картофеля свидетельствуют о значительном накоплении ТМ и мышьяка картофельной ботвой, в то время как в клубнях содержалось минимальное количество этих поллютантов. В картофельной ботве наблюдалось превышение ПДК кобальта на уровне 1,48 ПДК, а также загрязнение кадмием на уровне ПДК, кроме того, отмечалось высокое содержание свинца и мышьяка, хотя и не превышающее ПДК, но близкое к этому значению, достигающее 0,7 ПДК по изучаемым элементам.

Таким образом, представленные данные свидетельствуют о том, что картофель накапливал загрязняющие элементы преимущественно в надземной вегетативной массе и при умеренном загрязнении почв содержание загрязняющих веществ в картофельных клубнях не превышало ПДК.

Для более детального анализа поглощения ТМ изучаемыми растениями из загрязненных в различной степени почв, были рассчитаны КН тяжелых металлов

этими растениями. Результаты расчетов по годам приведены в следующих диаграммах.

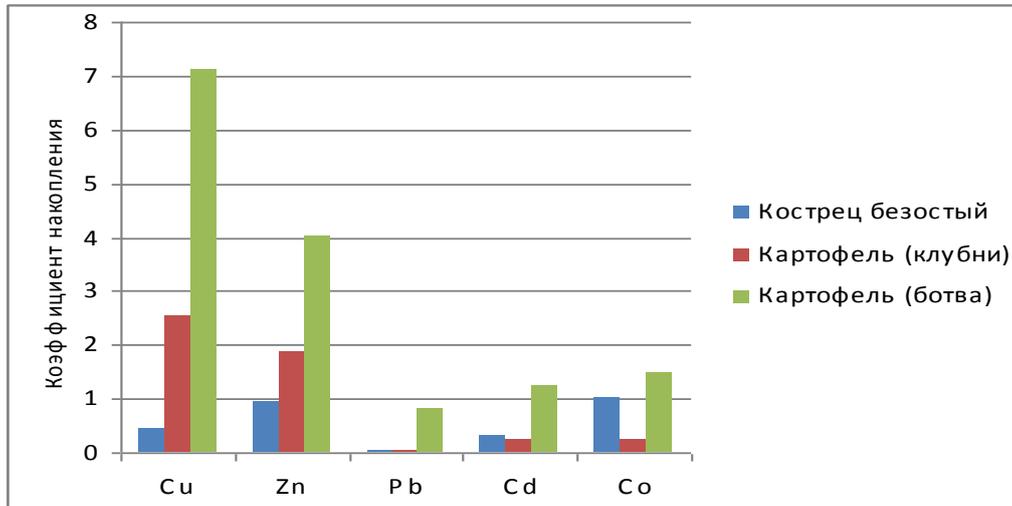


Рисунок 17 – Накопление тяжелых металлов в биомассе исследуемых растений в 2007 г.

Представленные на рисунке 17 данные свидетельствуют о том, что картофель обладал большей накопительной способностью по отношению к ТМ, чем кострец безостый, накапливая элементы-металлы, в основном в ботве. Выявлена способность растений накапливать в большей степени элементы-металлы, которые необходимы для жизненно важных процессов, происходящих в организме, то есть металлы микроэлементы, такие как Cu, Co и Zn. Токсичные ТМ (Pb и Cd) накапливались в растениях в меньшей степени.

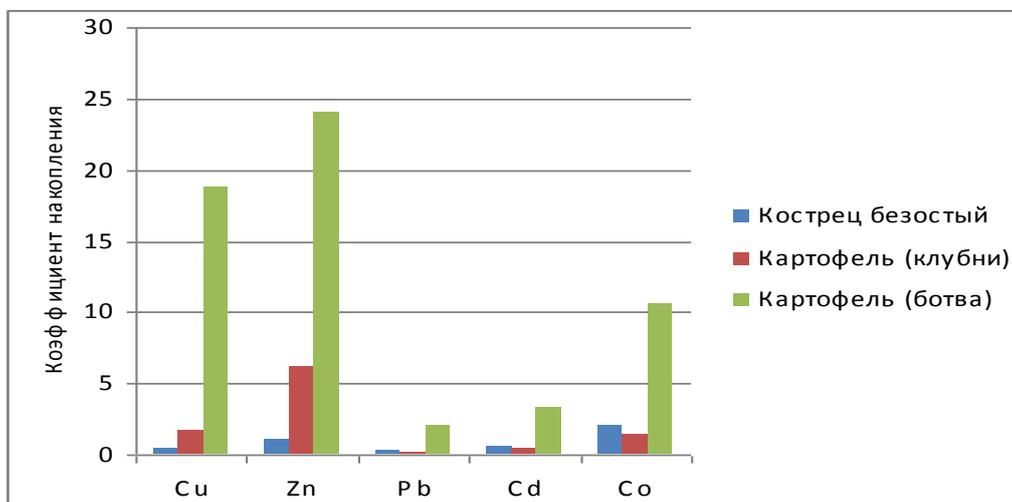


Рисунок 18 – Накопление тяжелых металлов в биомассе исследуемых растений в 2008 г.

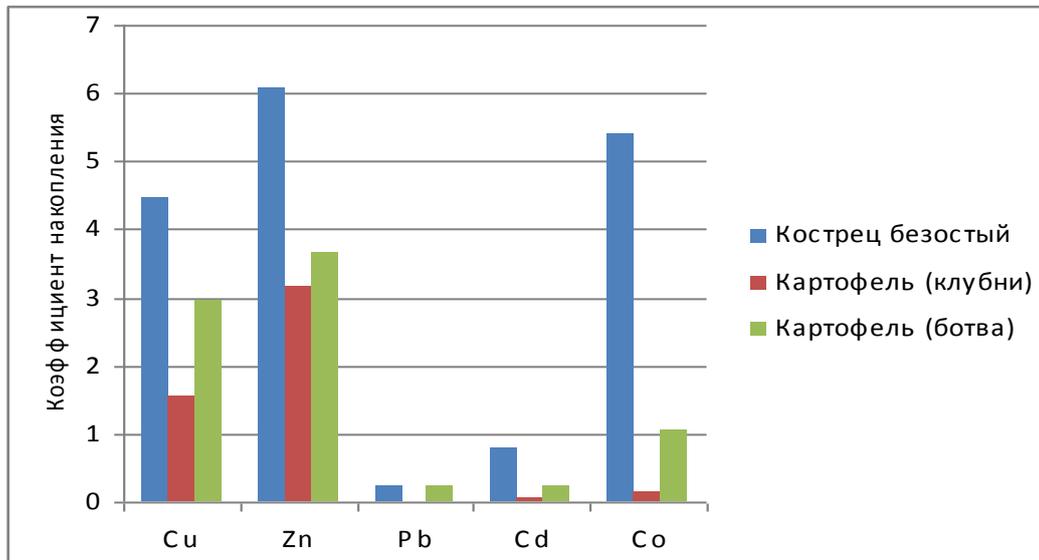


Рисунок 19 – Накопление тяжелых металлов в биомассе исследуемых растений в 2009 г.

В 2008 году сохранилась та же тенденция, что и в 2007. Наибольшим накоплением ТМ отличался картофель, который накапливал металлы преимущественно в ботве. Кострец безостый проявлял устойчивость к накоплению элементов-металлов. В этом году также как и в предыдущем, изучаемые растения накапливали металлы-микроэлементы.

В 2009 году наибольшими КН ТМ отличались, как картофель, который накапливал ТМ в вегетативной массе, так и кострец безостый.

По итогам трех лет исследований наблюдалась тенденция наибольшего накопления ТМ в надземной вегетативной массе картофеля. Клубни картофеля накапливали значительно меньшее количество загрязнителей, содержание которых в них не превышало ПДК. Это указывает на способность этого растения в условиях умеренного загрязнения концентрировать ТМ в вегетативных, менее поражаемых органах. Так же клубни картофеля являются, как известно «вторым хлебом» и вегетативными органами размножения, поэтому изучение механизмов устойчивости этого растения имеет большое научно-практическое и социальное значение.

Кострец безостый проявил себя как растение-исключитель, препятствующий поступлению ТМ в вегетативные органы. В условиях

значительного загрязнения почвенного покрова свинцом и медью отмечалась тенденция меньшего поглощения ТМ в сравнении с картофелем.

На представленных диаграммах отчетливо прослеживалась закономерность большего накопления ТМ в изучаемых растениях, относящиеся к группе микроэлементов, и меньшего – относящихся к токсичным.

Сопоставляя данные таблиц 5 и 13 можно сделать вывод, что наибольшая способность к накоплению мышьяка проявлялась у картофеля, который накапливал его также как и другие металлы в надземной вегетативной массе, а клубни содержали незначительное количество этого поллютанта. Кострец безостый отличался определенной устойчивостью к мышьяковому загрязнению, но при значительном загрязнении почвенного покрова мышьяком – до 6,4 ПДК, процесс накопления его усиливался, и содержание мышьяка в биомассе растения достигало уровня 2 ПДК.

В соответствии с поставленными задачами изучения механизмов аккумуляции ТМ однолетними и многолетними травами, перспективными для использования в технологиях фитоэкстракции, были проведены исследования, результаты которых приведены в таблице 14.

Полученные данные свидетельствуют о загрязнении вегетативной массы однолетних и многолетних растений, произрастающих на территории МО г. Свирск мышьяком. Содержание остальных металлов не превышало ПДК.

Сопоставляя данные таблиц 7; 9 и 14 можно сделать вывод, что на умеренно загрязненных и не загрязненных ТМ почвах, растения в большей степени поглощают металлы-микроэлементы (Cu, Zn) и в меньшей – токсичные металлы (Pb, Cd, Hg). Известно, что Zn относится к группе микроэлементов, физиологическая роль которого в растениях высока, поэтому этот элемент поглощается растениями в первую очередь, поэтому он отнесен к элементам повышенной концентрации; Cu – элемент средней концентрации, Pb, Cd – низкой концентрации и Hg – элемент очень низкой концентрации в растениях. Это подтверждается и результатами наших исследований.

Таблица 14 – Содержание тяжелых металлов и мышьяка в зеленой массе трав с участков в г. Свирске и п. Молодежном

Наименование культуры	Номер участка отбора	Содержание токсикантов, мг/кг					
		Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	As
2011 год							
Люцерна посевная	4	6,16	26,44	3,00	0,13	0,0220	1,310
Кострец безостый	4	5,70	26,91	1,40	0,18	0,0090	0,430
Пырей ползучий	4	1,63	23,00	0,58	0,15	0,0180	0,960
Овес	4	3,50	15,81	0,48	0,13	0,0030	0,200
Люцерна посевная	1к	4,40	12,98	0,13	0,09	0,0060	0,060
Кострец безостый	1к	2,17	12,81	0,13	0,05	0,0050	0,040
Пырей ползучий	1к	3,30	17,30	0,25	0,09	0,0010	0,090
Овес	1к	2,45	12,60	0,10	0,07	0,0000	0,050
НСР 0,5		1,42	4,06	0,11	0,06	0,001	0,38
2012 год							
Люцерна посевная	4	4,40	24,20	0,13	0,10	0,0100	2,000
Кострец безостый	4	5,25	21,25	0,22	0,19	0,0248	2,500
Пырей ползучий	4	4,85	17,85	0,27	0,09	0,0060	1,160
Эспарцет	4	5,25	17,19	0,19	0,19	0,0156	1,070
Рапс	4	4,25	20,15	0,24	0,24	0,0110	1,090
Люцерна посевная	1к	4,25	17,05	0,81	0,10	0,0112	0,037
Кострец безостый	1к	2,25	18,40	0,75	0,11	0,0146	0,058
Пырей ползучий	1к	2,85	12,30	0,15	0,09	0,0135	0,055
НСР 0,5		1,28	3,62	0,12	0,07	0,001	0,42
2013 год							
Люцерна посевная	2	5,00	22,90	0,29	0,14	0,0190	1,340
Кострец безостый	2	4,25	19,50	0,35	0,14	0,0178	1,280
Эспарцет	2	4,15	17,80	0,31	0,11	0,0136	0,980
Люцерна посевная	1к	4,25	20,10	0,28	0,10	0,0160	0,045
Кострец безостый	1к	4,10	18,60	0,27	0,09	0,0112	0,087
Эспарцет	1к	3,65	17,80	0,21	0,14	0,0108	0,039
НСР 0,5		1,36	3,87	0,14	0,07	0,001	0,34
МДУ		30	50	5,0	0,3	0,05	0,5

По итогам проведенных исследований концентрация ТМ в изучаемых растениях, произрастающих как в МО г. Свирск, так и на контрольных участках п. Молодежный образуют следующий убывающий ряд:



Наглядно механизм накопления в растениях каждого изучаемого элемента в зависимости от его содержания в почве представлен на рисунках 20-22.

На рисунке 20 наглядно видно, что наибольшей накопительной способностью по отношению к исследуемым ТМ отличались люцерна и кострец безостый, произрастающие на территории МО г. Свирск.

По итогам исследований накопления ТМ многолетними травами в 2012 году (рис. 21) наибольшей накопительной способностью по отношению к изучаемым

ТМ отличались растения, произрастающие на почвах в п. Молодежном. Причем наибольшим накоплением отличались люцерна посевная и кострец безостый.

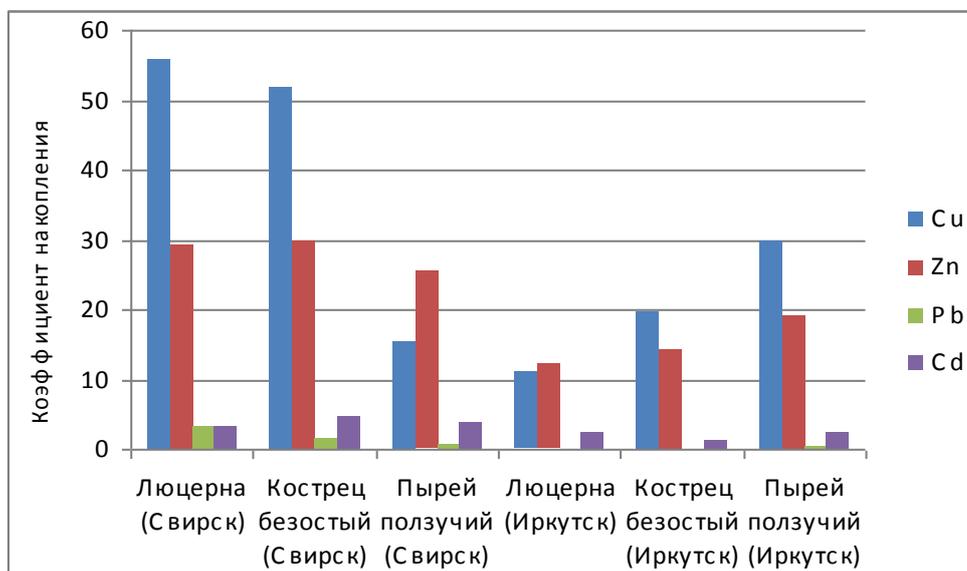


Рисунок 20 - Накопление тяжелых металлов в биомассе исследуемых растений в 2011 г.

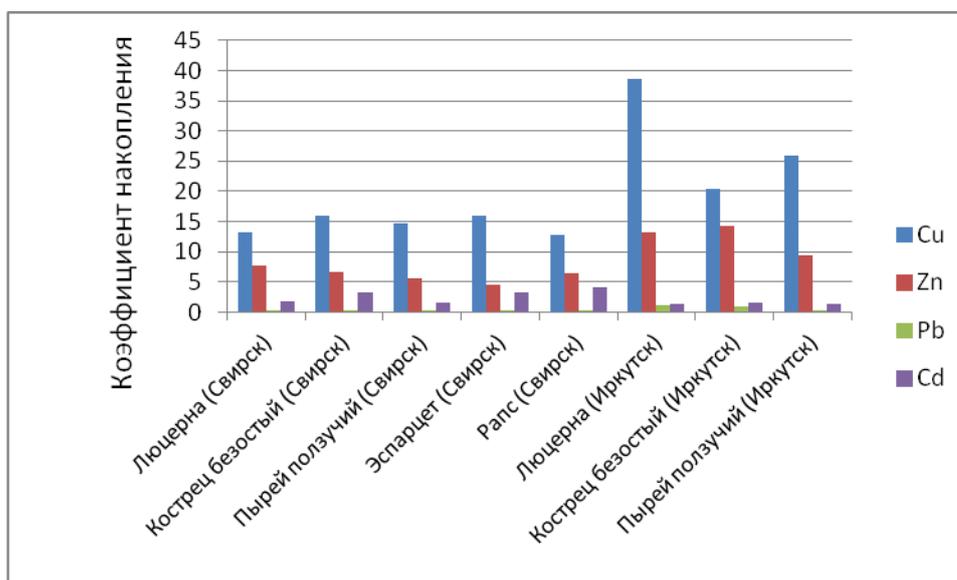


Рисунок 21 - Накопление тяжелых металлов в биомассе исследуемых растений в 2012 г.

Данные представленные на рисунке 22 свидетельствуют о том, что в 2013 году люцерна посевная накапливала большее количество элементов-металлов по сравнению с кострцом безостым и эспарцетом.

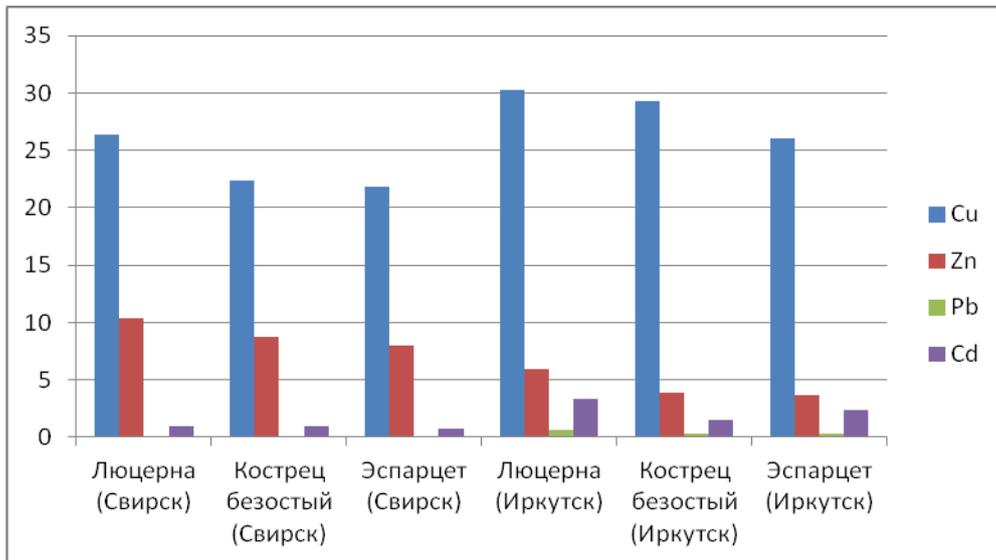


Рисунок 22 - Накопление тяжелых металлов в биомассе исследуемых растений в 2013 г.

Таким образом, в сухом веществе многолетних трав, произрастающих на почвах МО г. Свирск, содержание подвижных ТМ в которых не превышало ПДК, за исключением подвижного свинца, концентрация которого достигала 2 ПДК, содержание этих металлов в растениях также не превышало ПДК.

Однако содержание металлов-микроэлементов в сухой массе растений было выше, чем содержание этих элементов в подвижной форме в почвах. Это объясняется тем, что эти элементы участвуют в физиологических процессах и накапливаются растениями до уровня, который необходим для нормальной жизнедеятельности растительных организмов. Токсичный элемент – свинец, накапливался в растениях в меньшем количестве, чем содержался в почвах. Даже при превышении ПДК подвижного свинца в почве, в травах его содержание было гораздо ниже ПДК для растений. Это связано с тем, что свинец является токсичным элементом для растений. Так как одним из определяющих факторов поступления ТМ в растения является их токсичность, то превышение порога токсичности ТМ в почве, как правило, приводит к снижению их поступления в растения. Таким образом, при загрязнении почв на уровне 2 ПДК этим поллютантом, растения проявляли устойчивость, препятствуя его поступлению в органы.

КН ТМ рассчитывался на основе содержания подвижных элементов в почве, так как валовое содержание элементов не отражает миграционную подвижность их в звене почва - растения, поэтому для мышьяка КН рассчитан не был. Оценка накопления мышьяка изучаемыми растениями проводилась на основе сопоставления данных таблиц 6; 8 и 14.

Представленные аналитические данные свидетельствуют о том, что при значительном загрязнении почвенного покрова мышьяком, растения, произрастающие на этих почвах, также значительно загрязнены этим поллютантом, что указывает на неспособность защитных механизмов изучаемых растений препятствовать поступлению мышьяка в органы при сильном уровне загрязнения почвенного покрова. Наглядно степень загрязнения мышьяком многолетних трав, произрастающих на почвах МО г. Свирск и растений с контрольных участков приведена на рисунках 23-25.

Данные рисунка 23 свидетельствуют о загрязнении многолетних трав, произрастающих на территории МО г. Свирск в 2011 году. Наибольшее накопление мышьяка происходило в зеленой массе люцерны. Содержание мышьяка в вегетативной массе костреца безостого не превышало ПДК, но было близко к этому значению. Растения, отобранные на контрольных участках в п. Молодежный, содержали мышьяка гораздо ниже значения ПДК.

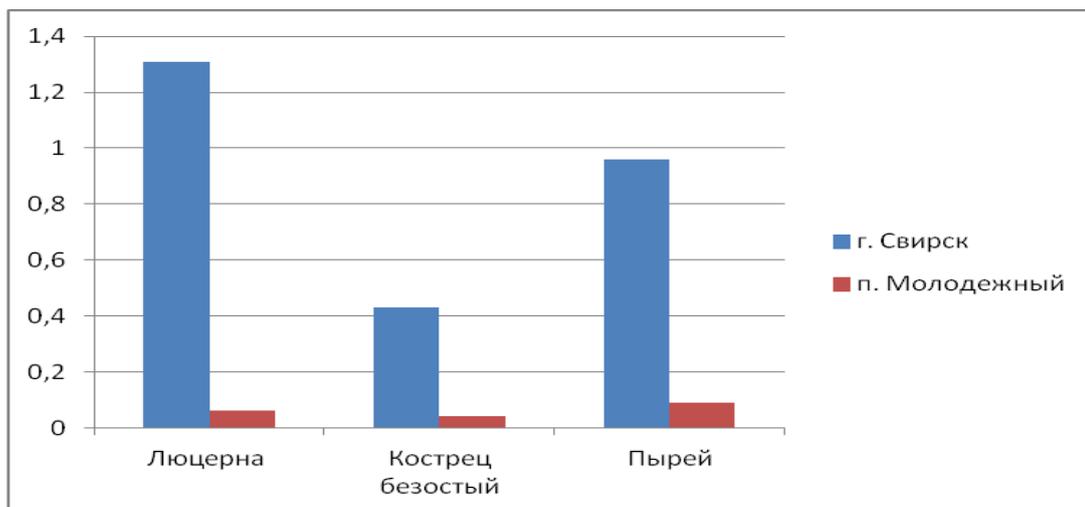


Рисунок 23 - Содержание мышьяка в многолетних травах с участков расположенных в МО г.Свирск и контрольных образцах с участка в п. Молодежный в 2011 г.

В 2012 году вегетативная масса всех трав, произрастающих на участках МО г. Свирск была загрязнена мышьяком. В большей степени накапливали мышьяк в своей вегетативной массе такие травы как кострец безостый и люцерна. В контрольных образцах растений загрязнение мышьяком не обнаружено.

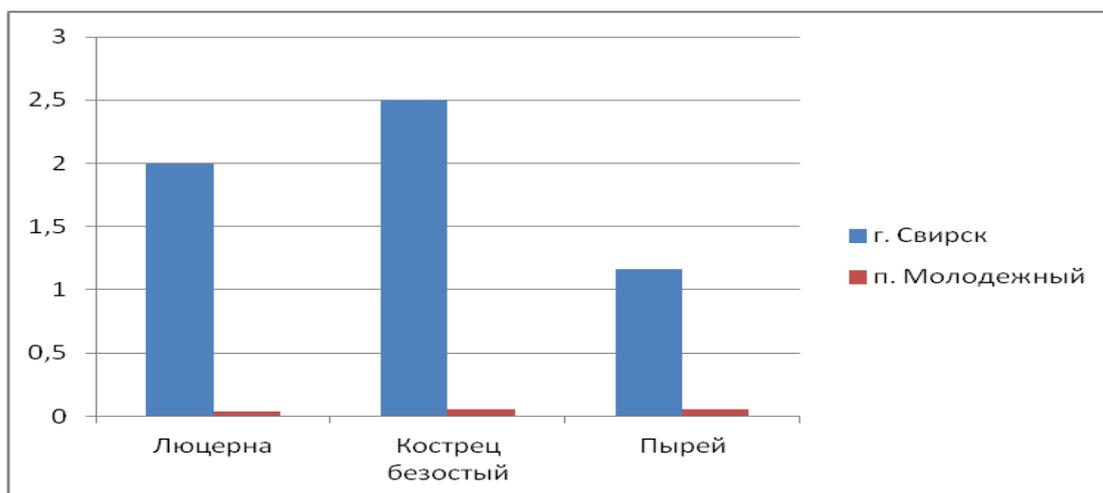


Рисунок 24 - Содержание мышьяка в многолетних травах с участков расположенных в МО г.Свирск и контрольных образцах с участка в п. Молодежный в 2012 г.

В 2013 году все изучаемые растения, произрастающие на участках МО г. Свирск накапливали мышьяк, содержание которого в зеленой массе этих растений в значительной степени превышало ПДК. Наибольшее содержание мышьяка отмечалось в зеленой массе люцерны посевной и костреца безостого.

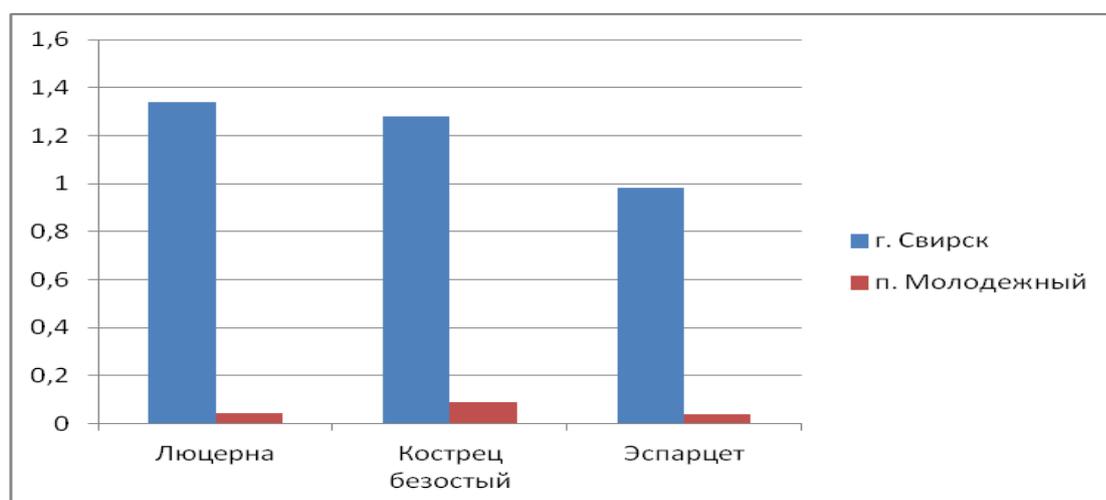


Рисунок 25 - Содержание мышьяка в многолетних травах с участков расположенных в МО г. Свирск и контрольных образцах с участка в п. Молодежный в 2013 г.

Представленные данные свидетельствуют о наибольшем накоплении мышьяка в вегетативных органах люцерны посевной. В связи с полученными данными мы рекомендуем люцерну посевную в качестве растения-фиторемедианта на загрязненных почвах МО г. Свирск. В отдельные годы наблюдалось значительное накопление мышьяка кострцом безостым, однако не была выявлена устойчивая закономерность этого растения накапливать мышьяк, рассматривая все годы исследований.

С целью изучения механизмов устойчивости овощных культур к накоплению ТМ были проведены исследования, результаты которых приведены в таблице 15.

Таблица 15 – Содержание тяжелых металлов и мышьяка в овощных культурах с садово-огородных участков в МО г. Свирск и п. Молодежный

Наименование культуры	Номер участка отбора	Содержание токсикантов, мг/кг					
		Cu	Zn	Pb	Cd	Hg	As
1	2	3	4	5	6	7	8
2011 год							
Картофель (клубни)	1	2,44	11,16	0,50	0,07	0,0010	3,27
Смородина (ягоды)	1	4,52	14,81	0,75	0,09	0,0028	0,27
Свекла (корнеплоды)	1	7,33	24,38	3,06	0,14	0,0032	4,13
Укроп (зелень)	1	5,73	27,22	1,00	0,14	0,0090	4,50
Слива (плоды)	1	2,27	8,82	0,42	0,04	-	0,65
Томат (плоды)	1	4,57	26,00	0,74	0,22	0,0030	1,14
Огурец (плоды)	1	5,00	25,86	1,07	0,09	-	3,11
Морковь (корнеплоды)	1	5,13	16,48	0,95	0,12	0,0058	1,94
Лук (зелень)	1	4,75	28,9	1,25	0,11	0,0070	2,72
Капуста (кочаны)	1	2,72	14,58	0,13	0,10	0,0010	0,83
Чеснок (луковица, зелень)	1	3,05	16,95	0,50	0,09	0,0040	13,7
Горох (плоды, ботва)	1	4,41	20,51	1,75	0,12	0,0030	5,79
Салат (зелень)	1	5,34	25,85	1,00	0,16	0,0130	2,20
Картофель (клубни)	2к	4,77	17,00	0,75	0,10	0,0020	0,10
Свекла (корнеплоды)	2к	5,70	26,35	0,90	0,11	0,0070	0,12
Укроп (зелень)	2к	4,26	24,09	1,07	0,10	0,0020	0,54
Томат (плоды)	2к	2,77	16,12	0,58	0,18	0,0000	0,48
Огурец (плоды)	2к	4,87	22,70	0,25	0,14	-	0,42
Морковь (корнеплоды)	2к	3,77	16,45	0,23	0,15	0,0060	0,27
Лук (зелень)	2к	-	-	-	-	-	0,20
Капуста (кочаны)	2к	2,34	13,63	0,13	0,10	0,0050	0,16
Чеснок (луковица, зелень)	2к	3,05	16,95	0,50	0,09	0,0040	0,08
Горох (плоды, ботва)	2к	4,68	24,06	0,25	0,09	0,0060	0,05
Салат (зелень)	2к	4,45	20,54	0,25	0,13	0,0050	0,33
НСР 0,5		1,23	3,08	0,17	0,08	0,009	0,27
2013 год							
Огурец (плоды)	2	2,14	10,80	0,30	0,09	0,0060	1,12
Томат (плоды)	2	2,45	14,70	0,25	0,08	0,0050	0,15
Зеленые культуры (зелень)	2	3,85	13,50	0,22	0,09	0,0070	1,53

Продолжение таблицы 15

1	2	3	4	5	6	7	8
Лук, чеснок (луковица)	2	3,45	12,40	0,21	0,11	0,0060	4,40
Свекла (корнеплоды)	2	2,76	24,50	0,17	0,10	0,0075	0,79
Морковь (корнеплоды)	2	2,45	21,85	0,15	0,13	0,0081	0,82
Капуста (кочаны)	2	2,25	17,50	0,21	0,10	0,0105	0,32
Картофель (клубни)	2	3,45	14,55	0,20	0,11	0,0115	0,15
Огурец (плоды)	2к	3,05	10,85	0,09	0,06	0,0075	0,057
Томат (плоды)	2к	3,15	14,50	0,15	0,07	0,0064	0,061
Зеленые культуры (зелень)	2к	2,50	13,25	0,24	0,08	0,0085	0,050
Лук, чеснок (луковица)	2к	2,65	17,40	0,23	0,10	0,0065	0,095
Свекла (корнеплоды)	2к	3,25	20,85	0,17	0,06	0,0090	0,140
Морковь (корнеплоды)	2к	4,15	17,40	0,19	0,11	0,0080	0,100
Капуста (кочаны)	2к	5,25	14,20	0,22	0,07	0,0095	0,040
Картофель (клубни)	2к	4,48	11,20	0,19	0,12	0,0072	0,027
НСР 0,5		1,32	3,22	0,08	0,07	0,008	0,26
МДУ		30	50	5,0	0,3	0,05	0,5

Содержание ТМ в овощных растениях выше ПДК не выявлено, также как и не выявлено загрязнение почвенного покрова, на котором они произрастали.

Концентрации ТМ в овощных культурах, произрастающих на участках как в МО г. Свирск, так и на участках в п. Молодежный, образуют следующий убывающий ряд:



Содержание мышьяка в овощных культурах МО г. Свирска и контрольных образцах п. Молодежный наглядно представлено на рисунках 26-27.

Результаты анализов, приведенные в таблице 15 и на рисунке 26 свидетельствуют о загрязнении овощных культур, произрастающих в г. Свирске в 2011 г. мышьяком выше ПДК, а в некоторых случаях значительно превышающем ПДК для растений, что обусловлено сильным мышьяковым загрязнением почв, на которых произрастали эти овощные культуры. Наибольшую устойчивость к накоплению мышьяка в своих плодах проявили ягодные кустарники. Содержание мышьяка в смородине не превышало ПДК, в сливе было на уровне 1,3 ПДК. Значительной накопительной способностью по отношению к мышьяку обладал чеснок, накапливающий его в луковицах до 27,4 ПДК. Существенным накоплением мышьяка отличались овощные зеленые культуры. В вегетативной массе укропа и лука наблюдалось содержание мышьяка на уровне 9 ПДК и 5,4 ПДК соответственно. Мышьяковому загрязнению подверглись клубни картофеля, корнеплоды свеклы и плоды огурца.

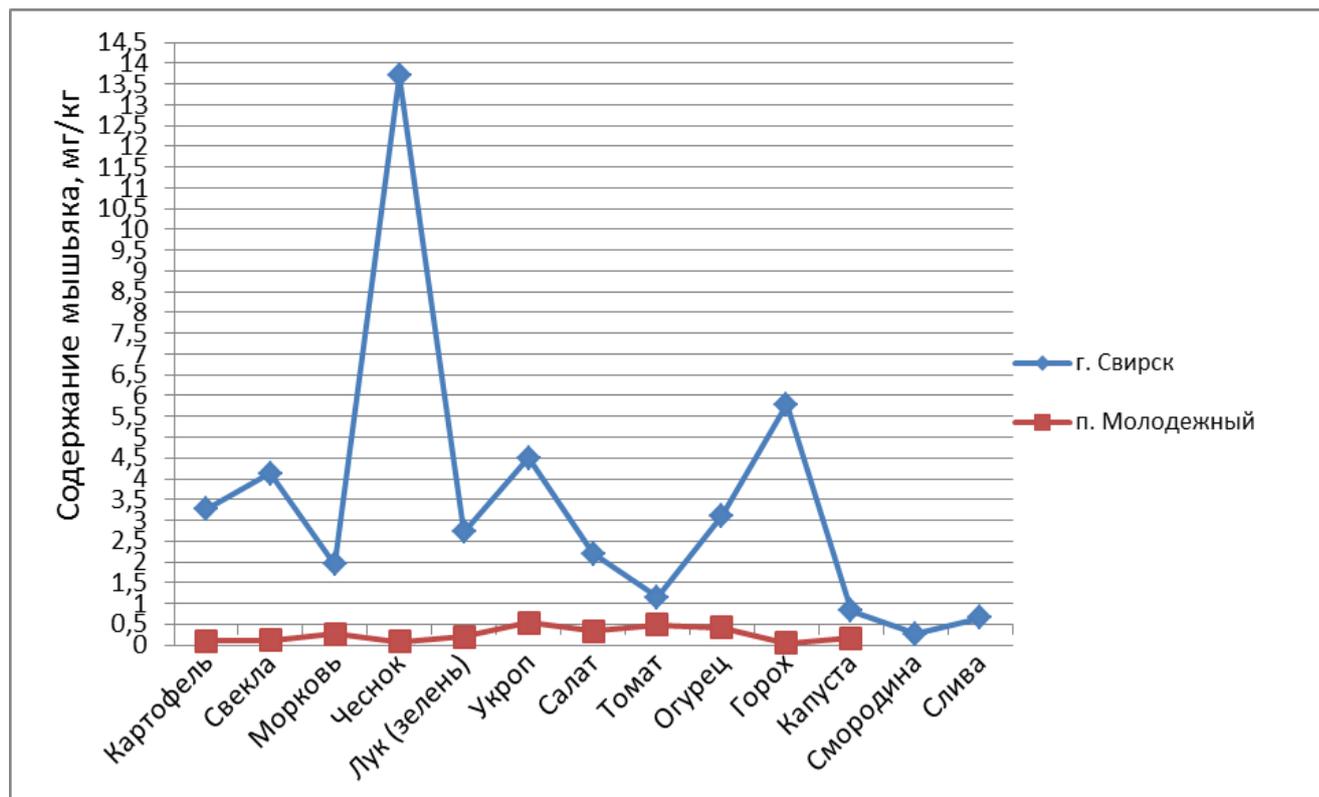


Рисунок 26 –Содержание мышьяка в овощных культурах с участков расположенных в МО г. Свирск и контрольных образцах с участка в п. Молодежный в 2011 г.

В контрольных образцах растений, произрастающих на почвах, содержание мышьяка в которых было меньше ОДК, загрязнение овощных культур не наблюдалось, за исключением зеленой массы укропа (загрязнение на уровне 1 ПДК) и салата – на уровне 0,7 ПДК, что свидетельствует об их особенности усваивать и накапливать мышьяк.

В 2013 году наибольшей накопительной способностью по отношению к мышьяку отличались такие овощные культуры как чеснок и лук, которые накапливали его как в луковицах, так и в вегетативной массе. Содержание мышьяка в этих культурах достигало 8,8 ПДК. Значительное содержание мышьяка – на уровне 3 ПДК отмечалось также в зеленых культурах. Кроме того, загрязнены мышьяком были плоды огурца и корнеплоды столовой свеклы и моркови.

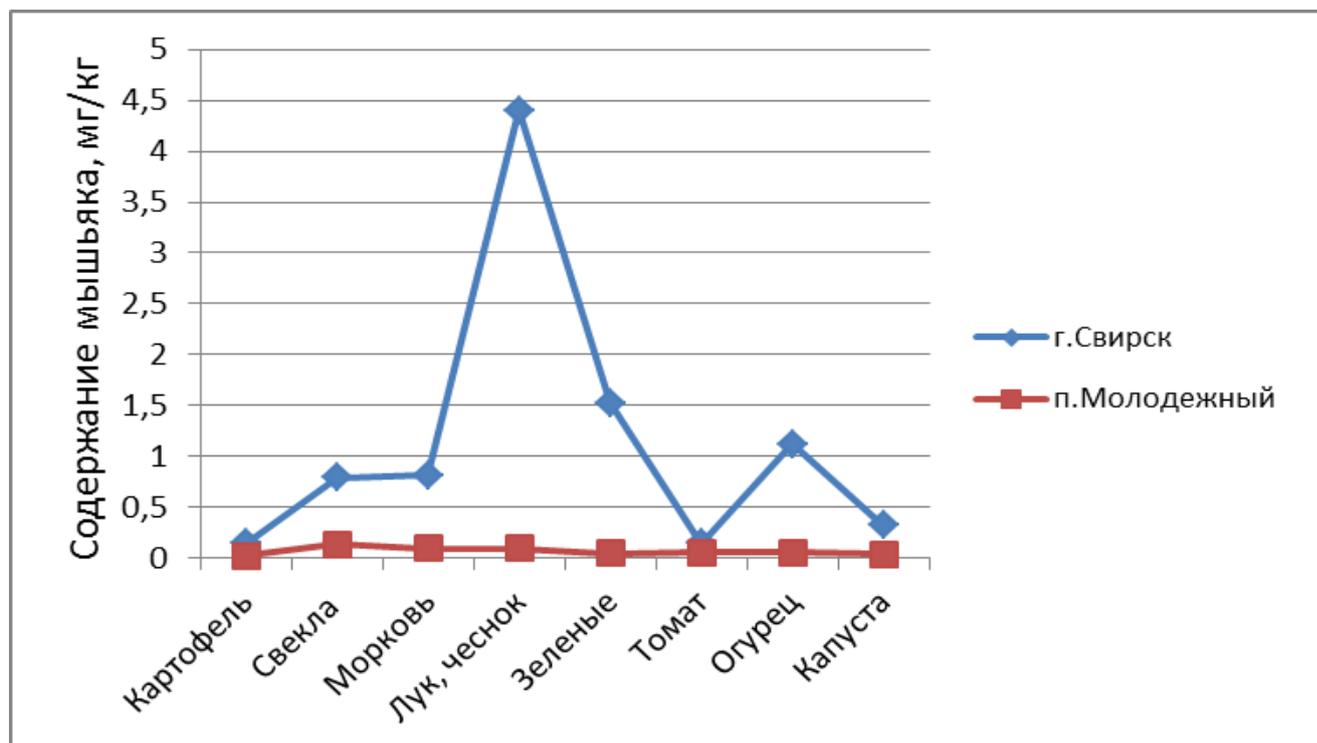


Рисунок 27 –Содержание мышьяка в овощных культурах с участков расположенных в МО г. Свирск и контрольных образцах с участков в п. Молодежный в 2013 г.

При существенном мышьяковом загрязнении проявили устойчивость такие овощные культуры как томат, картофель и капуста, в хозяйственно-полезной части, которых содержание мышьяка не превышало ПДК.

В овощных культурах, отобранных на контрольных участках в п. Молодежный превышений ПДК по мышьяку не выявлено.

Таким образом, овощные культуры на умеренно загрязненных ТМ почвах проявляют устойчивость и не накапливают загрязнители в количестве, превышающем ПДК. При значительном загрязнении почвенного покрова мышьяком механизмы устойчивости перестают функционировать и токсикант накапливается растениями, в том числе и в хозяйственно-полезной части урожая.

Менее устойчивым к мышьяковому загрязнению оказался чеснок, накапливающий мышьяк в зеленой массе и луковице в очень больших количествах. Высоким накоплением мышьяка отличались зеленые овощи, такие как лук, укроп, салат. Высокое содержание мышьяка отмечалось в плодах огурца, корнеплодах столовой свеклы и моркови. Горох накапливал в своей биомассе

значительное количество этого поллютанта. Выращивать на загрязненных почвах все названные культуры нами не рекомендуется.

Относительную устойчивость к загрязнению мышьяком проявляли такие овощные культуры как капуста, картофель, томат и плодово-ягодные культуры, представленные смородиной и сливой. В условиях загрязнения почв мышьяком и ТМ необходим постоянный контроль их содержания в продовольственной части урожая этих растений, а также осуществление комплекса мероприятий по снижению доступности изученных токсикантов. Кроме того, нами рекомендуется удалять побочную растительную продукцию (ботву, корневища, листовой опад и др.) за пределы участков возделывания этих культур.

## **5. ЭКОЛОГО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ ОРГАНИЧЕСКИХ УДОБРЕНИЙ**

### **5.1. Экономическая эффективность**

Разработанные нами и предлагаемые приемы детоксикации почвенного покрова МО г. Свирск и производство экологически безопасной продукции требуют высоких материально-финансовых затрат.

Для определения обоснованных материально-финансовых затрат необходимо установить эколого-экономическую составляющую эффективности разработанных приемов.

Под экономической эффективностью понимают соотношение уровня производства и затрат производственного процесса.

Нами установлено что, внесение в почву перепревшего навоза КРС способствует детоксикации загрязненных почв, что является предпосылкой получения экологически безопасных продуктов питания.

Экономическая эффективность приема внесения органических удобрений на техногенно загрязненных почвах, где выращивался картофель, была рассчитана на основе зональных научно-обоснованных технологических карт.

В нашем случае под технологической картой понимается плановый документ, в котором разрабатывался комплекс мероприятий по возделыванию картофеля с учетом внедрений рекомендуемых наукой и достижений передового опыта применительно к конкретным условиям производства и определялись затраты труда и материально-денежных средств, необходимых для этого. В свою очередь, расчеты, выполненные в технологической карте, являются основой для определения фактической себестоимости, стоимости произведенной продукции,

условно-чистого дохода и рентабельности производства. В расчетах использовались рыночные цены стоимости внесения перепревшего навоза КРС (1000 руб./т) и стоимости картофеля (25 руб./кг).

Технологические карты возделывания картофеля представлены в приложениях 4 и 5.

В основу расчетов уровня урожайности положены изучение ее структуры на двух смежных садово-огородных участках. Расчеты показали, что внесение органических удобрений способствовали резкому увеличению урожайности картофеля, а также к резкому увеличению затрат. Себестоимость картофеля оказалась выше рыночной стоимости, что привело к отрицательным показателям экономической эффективности возделывания картофеля, снижению рентабельности его производства. Возделывание картофеля по предлагаемой технологии приводит к убыткам (табл. 16).

Таблица 16 – Экономическая эффективность возделывания картофеля при внесении различных доз органических удобрений

Показатели	Доза органических удобрений, т/га		НСР <sub>0.5</sub>	Увеличение (+) Уменьшение (-)
	150	300		
Урожайность товарной продукции, т/га	12,0	20,0	2,5	+8,0
Затраты на 1 га, тыс. руб.	348,9	575,2	-	+226,3
Себестоимость 1т, тыс. руб.	29,0	28,7	-	-0,3
Выручка от реализации (25 руб./кг), тыс. руб.	300	500	-	+200
Условно чистый доход, тыс. руб.	-48,9	-75,2	-	-26,3
Окупаемость затрат, %	86,0	87,0	-	+1

В этой связи нами предлагается выделение дополнительных финансовых средств из областного и федерального бюджетов на решение экологических проблем МО г. Свирск.

## 5.2. Энергетическая эффективность

Детоксикация почвенного покрова, как правило, сопровождается ростом энергозатрат, поэтому одной из актуальных экологических проблем земледелия МО г. Свирск является разработка и обоснование энергосберегающих приемов и технологий возделывания и использования картофеля, наиболее полно учитывающих их эколого-биологические особенности, экономическую и экологическую эффективность.

Биоэнергетический метод позволяет изучить и сопоставить затраты живого и промышленного труда, а главное природных процессов, в первую очередь, энергию органического вещества почвенного плодородия. Биоэнергетический метод оценки, по сравнению с экономическим более объективен, так как исключает стоимостные показатели, которые в большинстве случаев субъективны.

Нами был произведен расчет энергетической эффективности возделывания картофеля при внесении различных доз органических удобрений согласно методическим указаниям «Энергетическая оценка агроэкосистем» (Хуснидинов, 2008). Результаты расчетов приведены в таблице 17.

Таблица 17 – Энергетическая эффективность возделывания картофеля при внесении различных доз органических удобрений

№ п/п	Агроэкосистема	Выход энергии, ГДж/га	Затраты совокупной энергии, ГДж/га	Энергетическая эффективность
1	Картофель-картофель (при внесении орг. уд. 150 т/га)	246,6	168,2	1,57
2	Картофель-картофель (при внесении орг. уд. 300 т/га)	511,7	294,2	1,73

Анализ энергетической эффективности проводился в следующей последовательности:

Во-первых, рассматривалось содержание энергии в произведенной продукции (социальный аспект), 1 кг сухого вещества картофеля содержит 17,57 МДж энергии. В эту же статью включали и экологический аспект, то есть

количество энергии, которое содержится в гумифицированной части органических удобрений поступающих в почву.

Во-вторых, учитывались все затраты на проведение технологических операций. В структуру затрат включали расход энергии почвенного плодородия (расход гумуса при возделывании картофеля составляет 1,5 т/га).

Энергетическая эффективность возделывания картофеля при внесении различных доз органических удобрений рассчитывалась как отношение суммы энергии, накопленной картофелем и энергии органических удобрений, к сумме совокупных затрат энергоресурсов при производстве картофеля.

Расчеты энергетической эффективности показали, что применяемые технологии выращивания картофеля с применением высоких доз органических удобрений экологически оправданы. Коэффициент энергетической эффективности в изучаемых вариантах опыта был больше единицы.

Применяемая технология возделывания картофеля имеет не только высокий социальный аспект (повышение урожайности), но и высокий экологический эффект, так как технология позволяет осуществлять расширенное воспроизводство плодородия почв (детоксикация почвенного покрова, повышение содержания гумуса, получение экологически безопасной продукции).

## ВЫВОДЫ

1. В результате проведенных исследований выявлено значительное загрязнение почвенного покрова в МО г. Свирск мышьяком на уровне 43 ОДК, связанное с деятельностью бывшего АМЗ и свинцом - на уровне 5 ПДК – в результате промышленных выбросов аккумуляторного завода «Востсибэлемент», отмечалось загрязнение почв медью, цинком и никелем. Выявлена значительная пространственная изменчивость загрязнения почв МО г. Свирск мышьяком и ТМ. Степень загрязнения была обусловлена месторасположением участков отбора почвенных проб.
2. Освоение и окультуривание почв способствовали их детоксикации. Целинная почва (участок 4) в большей степени была загрязнена мышьяком и ТМ в сравнении с окультуренной почвой (участок 1). В результате проведенных исследований выявлена способность органического вещества почвы к интенсивному поглощению и накоплению мышьяка и ТМ. При систематическом длительном применении перепревшего навоза КРС происходило снижение загрязнения как почвенного, так и растительного покрова. В почвах, на которых систематически вносились органические удобрения, отмечалось снижение содержания мышьяка и свинца.
3. Установлена эффективность фитоэкстракции как приема, снижающего степень загрязнения почвенного покрова. Большой накопительной способностью по отношению к мышьяку отличалась люцерна посевная (*Medicago sativa*), которую можно рекомендовать в качестве фиторемедианта. Люцерна посевная отличаются высокой продуктивностью зеленой массы и хорошо развитой корневой системой, что будет способствовать ускорению процесса фитоэкстракции. Выявлены растения – толеранты, которые в условиях загрязнения среды произрастания проявляли устойчивость к накоплению ТМ в концентрациях выше ПДК. Относительно устойчивыми к мышьяковому загрязнению оказались такие культуры, как

капуста (*Brassica oleracea*), картофель (*Solanum tuberosum*), томат (*Solanum lycopersicum*) и плодово-ягодные кустарники (смородина черная - *Ribes nigrum*, слива домашняя - *Prunus domestica*).

4. Пахотный слой освоенных и используемых почв оказался более загрязненным в сравнении с подпахотным, что связано с продолжающимся поступлением поллютантов при атмосферном загрязнении. Освоение и окультуривание почв, внесение органических удобрений, использование фитоэкстракции способствовали ускорению процесса очищения почвы от мышьяка и ТМ, а возделывание растений-толерантов – получению экологически безопасной растениеводческой продукции.
5. Расчеты экономической и энергетической эффективности показали, что применение высоких доз органических удобрений с позиции стоимостных показателей в условиях региона не оправданы, однако с точки зрения экологии этот технологический прием способствует сохранению плодородия почв и детоксикации ТМ и мышьяка. Экологический эффект лежит в основе производства экологически безопасных продуктов питания и реабилитации проживающего в МО г. Свирск населения.

## **ПРЕДЛОЖЕНИЯ**

1. В условиях техногенного загрязнения природной среды МО г. Свирск Иркутской области необходим постоянный мониторинг степени загрязнения почвенного и растительного покрова.
2. С целью детоксикации почвенного покрова техногенно загрязненной территории г. Свирска, рекомендуется прием фитоэкстракции. В качестве растения фиторемедианта нами предлагается люцерна посевная (*Medicago sativa*).

3. Для получения экологически безопасной продукции на приусадебных участках в г. Свирске рекомендуется выращивать растения-толеранты, которые не накапливают в хозяйственно-полезной части урожая загрязнители выше допустимых уровней. К ним относятся капуста (*Brassica oleracea*), картофель (*Solanum tuberosum*), томат (*Solanum lycopersicum*) и плодово-ягодные кустарники (смородина черная - *Ribes nigrum*, слива домашняя - *Prunus domestica*).
4. Не рекомендуется выращивать на загрязненных почвах г. Свирска не устойчивые к мышьяковому загрязнению культуры, такие как чеснок (*Allium sativum*), зеленые овощи (лук - *Allium*, укроп - *Anethum graveolens*, салат - *Lactuca sativa*), огурец (*Cucumis sativus*), свекла (*Beta vulgaris*), морковь (*Daucus carota*), горох (*Pisum*).

## СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ

- АМЗ – Ангарский металлургический завод  
АТФ – аденозинтрифосфорная кислота  
ГТК – гидротермический коэффициент  
ДНК – дезоксирибонуклеиновая кислота  
ЖКТ – желудочно-кишечный тракт  
ЗВ – загрязняющие вещества  
КН – коэффициент накопления  
КРС – крупный рогатый скот  
ЛД – летальная доза  
МО – муниципальное образования  
ОВ – отравляющие вещества  
ОДК – ориентировочно допустимая концентрация  
ОС – окружающая среда  
ПДК – предельно допустимая концентрация  
СД – смертельная доза  
ТД – токсическая доза  
ТМ – тяжелые металлы  
ЦБК – целлюлозно-бумажный комбинат

**СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ:**

1. Агроклиматические ресурсы Иркутской области / под.ред. З.Н. Пильникова. – Л.: Изд-во Гидрометеиздат, 1977. – С.9-15.
2. Алексеев, Ю.В. Тяжелые металлы в почве и растениях / Ю.В. Алексеев. – Л.: Агропромиздат, 1987. – 142 с.
3. Амосова, Я.М. Охрана почв от химического загрязнения / Я.М. Амосова, Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова. – М.: Изд-во Московского университета, 1989. – 96 с.
4. 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.
5. Андреева, И.В. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами / И.В. Андреева, Ф.Р. Байбеков, М.В. Злобина // Природообустройство. – 2009. - №5. – С. 5-11.
6. Анисимова, Г.И. Влияние кислотно-щелочных условий почвы на концентрацию и подвижность тяжелых металлов / Г.И. Анисимова, Т.Н. Сергеева // Миграция тяжелых металлов и радионуклидов в звене: почва - растение (корм, рацион) –животное - продукты животноводства – человек : материалы Второго Междунар. симпозиума, 28-30 марта 2000г., Великий Новгород: НовГАУ. – 2000. – 273с.
7. Арбузова,Е. Будет нечем гостей пугать / Е. Арбузова // Восточно-Сибирская правда. – 2012. - №92. – С.6.
8. Ароновская, Е.Э. Экологические проблемы Иркутской области / Е.Э. Ароновская, Ю.В. Падерина // Социально-экономическое развитие Прибайкалья: состояние, проблемы, перспективы : материалы межвузовской молодежной научн. – практич. конф. 25 мая2008 г. –Иркутск: ООО «Оттиск», 2008. –С.30-35.

9. Бабошкина, С.В. Тяжелые металлы в природных и техногенных ландшафтах Алтая / С.В. Бабошкина, И.В. Горбачев, А.В. Пузанов // Природа. – 2007. - №3. – С.60-65.
10. Баранов, В.И. Поглощение тяжелых металлов проростками гинкго из техногенно загрязненных почв [Электронный ресурс] / В.И. Баранов, Х.И. Скрипец// Экология мегаполисов: фундаментальные основы и инновационные технологии : материалы Всерос. симпозиума, 21-25 ноября 2011 г., М.: Изд-во «Лесная страна», 2011. – С.30. – Режим доступа: <http://www.agroxxi.ru/shop/fiziologija-rastenii/yekologija-megapolisov-fundamentalnye-osnovy-i-innovacionnye-tehnologii.html>
11. Баранова, Л. Завершена разработка ТЭО проекта по ликвидации очагов загрязнения мышьяком в Свирске [Электронный ресурс] / Л. Баранова. – 2007. – Режим доступа: <http://www.snews.ru>
12. 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.
13. Башмаков, Д.И. Поглощение и накопление тяжелых металлов растениями загрязненных местообитаний / Д.И. Башмаков, А.С. Лукаткин, Л.А. Чернышова // Пищевые ресурсы дикой природы и экологическая безопасность населения : материалы Междунар. конф., 16-18 ноября 2004 г., Киров: ВНИИОЗ, 2004. – 221с.
14. Башмаков, Д.И. Экотипы растений, устойчивых к повышенным дозам тяжелых металлов среде [Электронный ресурс] / Д.И. Башмаков, М.В. Церковнова, Н.Т. Ионова и др.// Экология мегаполисов: фундаментальные основы и инновационные технологии» : материалы Всерос. симпозиума, 21-25 ноября 2011 г., М.: Изд-во «Лесная страна», 2011. – С.31. – Режим доступа: <http://www.agroxxi.ru/shop/fiziologija-rastenii/yekologija-megapolisov-fundamentalnye-osnovy-i-innovacionnye-tehnologii.html>
15. Бганцова, М.В. Использование горчицы сарептской и райграса пастбищного для фиторемедиации загрязненных свинцом почв [Электронный ресурс] /

- М.В. Бганцовва // Вестник Томского ГУ. – 2009. - №324. – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/ispolzovanie-gorchitsy-sareptsКОЙ-i-raygrasa-pastbischnogo-dlya-fitoremediatsii-zagryaznennyh-svintsom-pochv>
- 16.Белоголова, Г.А. Закономерности миграции тяжелых металлов (Pb, Zn, Cu, Cd, As, Hg) в почвах Южного Прибайкалья и особенности их поступления в растения и пищевые цепи человека [Электронный ресурс] / Г.А. Белоголова, Г.В. Матяшенко, Н.А. Китаев // Проект VII.65.2.3. Биогеохимические циклы химических элементов в природных и техногенных ландшафтах Байкальского региона, экологические последствия изменения окружающей среды (2010-2012 год). – Режим доступа: <http://www.igc.irk.ru/Reports/2009/project7-12-2-1-IGC2009.pdf>
- 17.Беркин, Н.С. Иркутская область (природные условия административных районов) / Н.С. Беркин, С.А. Филатова, В.М. Бояркин и др. – Иркутск: Изд-во Иркутского университета, 1993. – С.194-207.
- 18.Богданов, А.В. Рекуперативная технология бетонирования мышьяксодержащих отвалов / А. В. Богданов, Е. А. Шишмарева // ЭКиП: Экология и промышленность России. - 2008. - N 9. - С. 4-6.
- 19.Богданова, Е.С. Рост и развитие лесного папоротника *Matteuccia sthruthiopteris* (L) TODARO в присутствии ионов тяжелых металлов [Электронный ресурс] / Е.С. Богданова // Экология мегаполисов: фундаментальные основы и инновационные технологии : материалы Всерос. симпозиума, 21-25 ноября 2011 г., М.: Изд-во «Лесная страна», 2011.- С.33. – Режим доступа: <http://www.agroxxi.ru/shop/fiziologija-rastenii/yekologija-megapolisov-fundamentalnye-osnovy-i-innovacionnye-tehnologii.html>
- 20.Большаков, В.А. Загрязнение почв и растительности тяжелыми металлами / В.А. Большаков, Н.А. Гальпер, Г.А. Клименко и др. – М.: Изд-во ВНИИИиТЭИсельхоз, 1978. – 54с.
- 21.Большаков, В.А. Микроэлементы и тяжелые металлы в почвах / В.А. Большаков // Почвоведение. – 2002. - №7. – С.844-849.

22. Бузмаков, В.В. Природопользование и сельскохозяйственная экология : монография / В.В. Бузмаков, Ш.А. Москалев. – М.: Рос.акад. естеств. наук им. В.И. Вернадского, Моск. гос. акад. ветеринар. медицины и биотехнологии им. К.И. Скрябина, 2005. – 447с.
23. Буравцев, В.Н. Современные технологические схемы фиторемедиации загрязненных почв / В.Н. Буравцев, Н.П. Крылова // Сельскохозяйственная биология. – 2005. - №5. – С.67-74.
24. Бурлакова, Л.М. Экоотоксиканты в системе «почва-растения-животные» (на примере отдельных зон Алтайского края): монография / Л.М. Бурлакова, О.И. Антонова, Н.Г. Деев и др. – Барнаул: Изд-во АГАУ, 2001. – 236с.
25. В Иркутской области вымирает целый город [Электронный ресурс], 2007. – Режим доступа: [http://www.kalitva.ru/2007/02/17/v\\_irkutskoj\\_oblasti\\_vymiraet\\_celyjj\\_gorod.html](http://www.kalitva.ru/2007/02/17/v_irkutskoj_oblasti_vymiraet_celyjj_gorod.html)
26. 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.
27. Варламов, А.А. Мониторинг земель : учеб. пособие / А.А. Варламов, С.Н. Захарова. – М.: ГУЗ, 2000. – 156с.
28. Васильева, Т.Н. Фиторемедиационные аспекты загрязнения урбанизированных почв Оренбурга : автореф. дис. ...канд. биол. наук : 03.02.01 / Васильева Татьяна Николаевна. – Оренбург, 2011. – 23 с.
29. Вигорская, А. Тополя и топинамбур вместо мышьяка появятся в Свирске после утилизации отходов АМЗ / А. Вигорская // Областная общественно-политическая газета. – 2012. – 4 мая.
30. Влияние на организм человека факторов литосферы [Электронный ресурс]: большой информационный архив. – Режим доступа: [http://big-archive.ru/bio/general\\_ecology\\_and\\_meditienskaya/48.php](http://big-archive.ru/bio/general_ecology_and_meditienskaya/48.php)
31. Водяницкий, Ю.Н. Свойства тяжелых металлов и металлоидов в почвах / Ю.Н. Водяницкий // Агрохимия. – 2009. - №8. – С. 85-94.

32. Волков, К.С. Новые перспективные виды декоративных растений в фиторемедиации комплексно-загрязненных городских территорий / К.С. Волков, В.П. Холодова., В.В. Кузнецов // Экология мегаполисов: фундаментальные основы и инновационные технологии : материалы Всерос. симпозиума, 21-25 ноября 2011 г. – М.: Изд-во «Лесная страна», 2011. – С.37. – Режим доступа: <http://www.agroxxi.ru/shop/fiziologija-rastenii/yekologija-megapolisov-fundamentalnye-osnovy-i-innovacionnye-tehnologii.html>
33. Воробьев, А.Е. Человек и биосфера: глобальное изменение климата : учебник для ВУЗов по направлениям «Горное дело», «Геоэкология» / А.Е. Воробьев, Л.А. Пучков, – Ч.1. – М.: Изд-во РУДН, 2006. – 442 с.
34. Вяйзенен, Г.Н. Мониторинг тяжелых металлов и радионуклидов в природных экосистемах / Г.Н. Вяйзенен, А.И. Токарь // Пищевые ресурсы дикой природы и экологическая безопасность населения : материалы Междунар. конф., 16-18 ноября 2004 г., Киров : ВНИИОЗ, 2004. –221с.
35. Вяйзенен, Г.Н. Натуральные добавки против тяжелых металлов / Г.Н. Вяйзенен // Животноводство России. – 2011. - №5. – С.45-47.
36. 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.
37. Гайкова, О.Ю. Государственное регулирование в сфере охраны окружающей среды / О.Ю. Гайкова, А.Г. Абрамова, Е.В. Кумченко // Стратегические направления устойчивости развития Байкальского региона : материалы Всерос. науч.-практич. конф. (с междунар. участием), 20-22 апреля 2010 г. – Иркутск, 2010. – Ч. 1. – С. 22-27.
38. Герасименко, В.П. Практикум по агроэкологии: учеб.пособие для ВУЗов / В.П. Герасименко. – СПб.: Из-во «Лань», 2009. – 432 с.
39. 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.

- 40.Гладков, Е.А. Оценка комплексной фитотоксичности тяжелых металлов и определение ориентировочно допустимых концентраций для цинка и меди / Е.А. Гладков // Сельскохозяйственная биология. – 2010. - №6. – С.94-99.
41. Глобальные экологические проблемы Земли, пути их решения на региональном и общепланетарном уровнях : учеб. программа и пособ. для доп. и самостоят. работы студентов-охотоведов по курсу «Охрана природы» / В.Н. Моложников. – Иркутск: ИрГСХА, 2001. – 44с.
- 42.Гордеева, О.Н. Формы нахождения ртути в почвах природно-техногенных ландшафтов Приангарья [Электронный ресурс] / Гордеева О.Н., Белоголова Г.А., Рязанцева О.С. // Современные проблемы геохимии : материалы конф. молодых ученых 12-17 сентября 2011 г. – Иркутск: Институт геохимии СО РАН. – Режим доступа: <http://www.igc.irk.ru/Molod-konf/offline-2011/youngconf-2011/ru/reportview/49348.html>
- 43.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.
- 44.Горелова, С.В. Древесные растения: аккумуляция токсических элементов и аспекты адаптации в урбоэкосистемах [Электронный ресурс] / С.В. Горелова, А.В. Горбунов, С.М. Ляпунов //Экология мегаполисов: фундаментальные основы и инновационные технологии : материалы Всерос. симпозиума, 21-25 ноября 2011 г. – М.: Изд-во «Лесная страна», 2011. – С.46. – Режим доступа: <http://www.agroxxi.ru/shop/fiziologija-rastenii/yekologija-megapolisov-fundamentalnye-osnovy-i-innovacionnye-tehnologii.html>
- 45.ГОСТ 17.4.4.02-84 Охрана природы. Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа. – М.: Стандартиформ, 2008. – 8 с.

- 46.ГОСТ 26205-91 Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Мачигина в модификации ЦИНАО. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 10 с.
- 47.ГОСТ 26207-91 Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 7 с.
- 48.ГОСТ 26213-91 Почвы. Методы определения органического вещества. – М.: Изд-во стандартов, 1992. – 8 с.
- 49.ГОСТ 26483-85 Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение ее рН по методу ЦИНАО. – М.: Изд-во стандартов, 1995. – 6 с.
- 50.Государственный доклад о состоянии окружающей природной среды Иркутской области в 2007 году / Е.В. Кучменко, Т.А. Маркова, Иркутск: ООО «Бланкиздат», 2008. – 360 с.
51. Гришина, Л.А. Органическое вещество почвы в условиях техногенного загрязнения. Роль органического вещества в формировании почв и их плодородия / Л.А. Гришина. – М.: Науч. тр. почв. института им. В.В. Докучаева, 1990. – С.15-19.
- 52.Груздева, Л.П. Применение биоиндикации для выявления техногенного загрязнения агроландшафтов / Л.П. Груздева // Землеустройство, кадастр и мониторинг земель. – 2010. - №3. – С.13-16.
- 53.Гундорова, Л. Кислота в мирных целях / Л. Гундорова // Областная общественно-политическая газета. – 2006. – 17 июля.
- 54.Дабахов, М.В. Экотоксикология и проблемы нормирования / М.В. Дабахов, Е.В. Дабахова, В.И. Титова. – Н. Новгород: Изд-во ВВАГС, 2005. – 165с.
- 55.Дан, А. Смеющийся город / А. Дан // Восточно-Сибирская правда. – 2003. – 10 июля.
- 56.Дементьева, Е. Город на мышьяке / Е. Дементьева // Аргументы и факты. – 2006. – февраль.
- 57.Дзагуров, Б. Bentonитовая глина – эффективный адсорбент / Б. Дзагуров // Животноводство России. – 2010. - №4 – С.17.

- 58.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.
- 59.Добровольский, В.В. Роль органического вещества почвы в миграции тяжелых металлов / В.В. Добровольский // Природа. – 2004. - №7. – С.35-39.
- 60.Дричко, В.Ф. Оценка скорости очищения загрязненных почв методом фитомелиорации / В.Ф. Дричко // Почвоведение. – 2006. - №9. – С.1144-1149.
61. 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.
- 62.Еськов, Е.К. Балансовый метод тяжелых металлов искусственно загрязненных почв в условиях естественных агроценозов / Е.К. Еськов, В.Ф. Ефтяхин // Аграрная Россия. – 2010. - №6. – С.16-20.
- 63.Ефимова, Н.В. Современные проблемы медико-биологической и экологической безопасности Иркутской области [Электронный ресурс] / Н.В. Ефимова, Е.П. Голубинский, Ю.П. Маромович и др. // Бюллетень ВСЦН СО РАМН. – 2007. - №6(58). – С.6-12. – Режим доступа: [http://www.vsnr.ru/2007/6/Bull\\_2007\\_06\\_01-01.pdf](http://www.vsnr.ru/2007/6/Bull_2007_06_01-01.pdf)
- 64.Житов, В.В. Агрохимия в условиях юга Восточной Сибири : учеб. пособие / В.В. Житов, А.А. Долгополов, Н.Н. Дмитриев. – Иркутск: ИрГСХА, 2004. – 336 с.
- 65.Зверев, В.Л. Экология России: проблемы природопользования и среды обитания, краеведение и учебные практикумы : учебник для общеобразовательной системы школа – ВУЗ [Электронный ресурс] / В.Л. Зверев. – М., 2001. – 531 с. – Режим доступа: <http://www.twirpx.com/file/189977/>

66. Земли Свирска пропитаны мышьяком [Электронный ресурс] // Материалы ГТРК Иркутск 10 марта 2009. – Режим доступа: <http://irk-vesti.ru/igrkevent/1629-z-mlya-v-svirsk-propitana-mishyakom.html>
67. Зудилин, С.Н. Накопление травами тяжелых металлов / С.Н. Зудилин, А.А. Толпекин // Кормление сельскохозяйственных животных и кормопроизводство. – 2006. - №3. – С.24-26.
68. Иванова, Н.В., Особенности накопления тяжелых металлов в почвах пригородной зоны Новосибирска / Н.В. Иванова // Проблемы экологии агроэкосистем: пути и методы их решения : материалы всерос. науч. конф. (г. Новосибирск, 3 дек. 2009 г.) : сб. науч. ст. – Новосибирск, 2009. – С.40-42.
69. 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.
70. 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.
71. Ильин, В.Б. Тяжелые металлы в системе «почва-растение» / В.Б. Ильин. – Новосибирск: Наука, 1991. – 152 с.
72. Иркутские ученые ищут способы очистить Свирск от мышьякового загрязнения [Электронный ресурс] / ИА Байкал Инфо. – 2012. – Режим доступа: <http://www.pribaykal.ru/smi-item>
73. Казнина, Н.М. Влияние техногенного загрязнения почвы тяжелыми металлами на состояние травянистых фитоценозов [Электронный ресурс] / Н.М. Казнина, А.Ф. Титов, Г.Ф. Лайдинен и др. // Экология мегаполисов: фундаментальные основы и инновационные технологии : материалы Всерос. симпозиума, 21-25 ноября 2011 г. – М.: Изд-во «Лесная страна», 2011.- С.66. – Режим доступа: <http://www.agroxxi.ru/shop/fiziologija-rastenii/yekologija-megapolisov-fundamentalnye-osnovy-i-innovacionnye-tehnologii.html>

74. Капитанова, Т.М. Видовые особенности накопления тяжелых металлов бобовыми культурами / Т.М. Капитанова, Е.С. Минина, Е.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.
75. 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.
76. Капитанова, О.А. Особенности аккумуляции тяжелых металлов ряской малой / О.А. Капитанова // Пищевые ресурсы дикой природы и экологическая безопасность населения : материалы Междунар. конф., 16-18 ноября 2004 г. – Киров: ВНИИОЗ, 2004. – 221с.
77. Каплин, В.Г., Основы экотоксикологии : учеб.пособие для ВУЗов / В.Г. Каплин. – М.: КолосС, 2007.-232с.
78. 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.
79. Кабата-Пендиас, А., Микроэлементы в почвах и растениях (пер. с англ.) / А. Кабата-Пендиас, Х. Пендиас. – М.: Мир, 1989 – 439с.
80. 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.
81. Коваленко, С.Г. Влияние кадмия и свинца на продуктивность кукурузы (на зел. корм) при корневом и некорневом поступлении их в растения / С.Г. Коваленко // Совершенствование методологии агрохимических исследований. – М.: Изд-во МГУ, 1997. – С. 384-388.

82. Ковальчук, Л.А. Тяжелые металлы в окружающей среде среднего Урала и их влияние на организм / Л.А. Ковальчук, О.А. Сатонкина, А.Э. Тарханова // Экология. – 2002. - №5. – С.358-361.
83. Ковда, В.А. О биологической реакции растений на тяжелые металлы в среде / В.А. Ковда, Б.Н. Золотарева, И.И. Скрипниченко // Докл. АН СИР. – Т.247. – 1980. – №3. – С.766-768.
84. Колесников, С.И. Экологические функции почв и влияние на них загрязнения тяжелыми металлами / С. И. Колесников, К.Ш. Казеев, В.Ш. Вальков // Почвоведение. – 2002. - №12. – С.1509-1514.
85. Концы в карьер / материалы СМИ // Сибирский энергетик. – 2011. - №16. – С.6.
86. Корзун, М.А. Почвы Иркутской области их использование и мелиорация: Сборник научных статей / М.А. Корзун, В.А. Кузьмин – Иркутск: Институт географии Сибири и Дальнего Востока, 1979.- С17-33.
87. Корк, Б. Золото зароят в землю / Б. Корк // СМ номер один. – 2009. – 29 октября.
88. Костычев, А.А. Биосорбция тяжелых металлов и мышьяка агарикоидами и гастероидными базидиомицетами : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.24 / Костычев Андрей Александрович. – М., 2009. – 23 стр.
89. Котова, Т.В. Содержание тяжелых металлов в зерновых культурах в зависимости от типа почв [Электронный ресурс] / Т.В. Котова // Вестник КрасГАУ. – 2008. – Вып. 6. – С.46-49. – Режим доступа: <http://elibrary.ru/contents.asp?issueid=602292>
90. Кривошеев, Д.А. Экология и безопасность жизнедеятельности : учеб. пособ. для ВУЗов / Д.А. Кривошеев, Л.А. Муравей, Н.Н. Роева; под ред. Л.А. Муровой. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 447 с.
91. Кудряшова, В.И. Аккумуляция тяжелых металлов дикорастущими растениями : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Кудряшова Вероника Игоревна. - , 2003. – 144 с.

92. Кузнецов, А.Е. Прикладная экобиотехнология : учеб. пособие / А.Е. Кузнецов и др. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2010. – 485 с.
93. Кузнецова, Е.А. Содержание тяжелых металлов в почвах типичного агроландшафта Орловской области и их накопление в зерне сельскохозяйственных культур / Е.А. Кузнецова // Агрехимия. – 2009. - №8. – С.60-64.
94. 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.
95. Кулибина, И. Путь изобретения – внедрение или забвение / И. Кулибина // Иркутская губерния. – 2011. - №4(57). – С.30.
96. Курманбаева, А.С. Изменение ацидофицирующей активности корней под влиянием мышьяка / А.С. Курманбаева // Плодородие. – 2008. - №3. – С. 33-34.
97. Литвинов, В.Ф. Динамика накопления тяжелых металлов в почве города Великий Новгород / В.Ф. Литвинов, Т.Н. Филиппова, О.И. Патрушева 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.
98. Ложниченко, О.В. Экологическая химия : учебное пособие для ВУЗов / О.В. Ложниченко, И.В. Волкова, В.Ф. Зайцев. – М.: Академия, 2008.-265с.
99. Лозановская, И.Н. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении : учебное пособие для химико-технологических, биологических специальностей и направлений ВУЗов / И.Н. Лозановская, Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова. – М.: Высшая школа, 1998. – 228 с.
100. Лукаткин, А.С. Тяжелые металлы – основные направления исследований и модификация их токсического действия [Электронный ресурс] / А.С. Лукаткин // Экология мегаполисов: фундаментальные основы и инновационные технологии : материалы Всерос. симпозиума, 21-25 ноября

- 2011 г. – М.: Изд-во «Лесная страна», 2011.- С.90. – Режим доступа: <http://www.agroxxi.ru/shop/fiziologija-rastenii/yekologija-megapolisov-fundamentalnye-osnovy-i-innovacionnye-tehnologii.html>
101. Луковникова, Е.Г. Экологические нарушения в российских регионах. Действия властей [Электронный ресурс] / Е.Г. Луковникова // «эко-юрист 2009» : материалы практической части всерос. студ. конкурса. – ЭПЦ «Беллона», 2009. – С.194. – Режим доступа: [http://bellona.ru/filearchive/fil\\_REPORT\\_ECO\\_N\\_5.pdf](http://bellona.ru/filearchive/fil_REPORT_ECO_N_5.pdf)
102. 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.
103. 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.
104. Макарова, О.А. Экологическое состояние системы вода-почва-растение в условиях городской среды / О.А. Макарова, Н.А. Калининко // Безопасность жизнедеятельности. – 2008. - №10(94). – С.12-15.
105. Маракаев, О.А. Накопление тяжелых металлов листьями древесных растений в условиях промышленного стресса [Электронный ресурс] / О.А. Маракаев, Н.С. Смирнова, Н.В. Загоскина // Экология мегаполисов: фундаментальные основы и инновационные технологии : материалы Всерос. симпозиума, 21-25 ноября 2011 г. – М.: Изд-во «Лесная страна», 2011.- С.94. – Режим доступа: <http://www.agroxxi.ru/shop/fiziologija-rastenii/yekologija-megapolisov-fundamentalnye-osnovy-i-innovacionnye-tehnologii.html>
106. Мартынова, А.С. Почвы Восточной Сибири и повышение их плодородия: Сборник научных статей / А.С. Мартынова, В.П. Мартынов. – Иркутск: ИГУ, 1979.- С.23-27.
107. Махнева, А. Пока все к счастью хорошо / А. Махнева // Сибирский энергетик. – 2012. – 17 августа.

108. Методические указания по оценке степени опасности загрязнения почвы химическими веществами. – М, 1989.
109. Минаева, О.В. Поглощение ряда тяжелых металлов из водных растворов растениями водного гиацинта (*EICHHORNIA CRASSIPES*) / О.В. Минаева, Е.Е. Акимова, К.М. Минаев и др. // Вестник Томского государственного университета. – 2009. - №4(8). – С.106-111.
110. Минеев, В.Г. Воспроизводство почвенного плодородия агрохимическими средствами и охрана почв от техногенного загрязнения / В.Г. Минеев // Вестник с-х науки. – 1988. - №6. – С. 95-101.
111. Минаина, Е.С. Эффект использования растительных культур для получения экологически чистых продуктов животноводства / Е.С. Минаина, Г.Н. Вяззенен, А.И. Токарь 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.
112. Минкина Т.М. Взаимодействие тяжелых металлов с органическим веществом чернозема обыкновенного / Т.М. Минкина, Г.В. Мотузова, О.Г. Назаренко // Почвоведение. – 2006. - №7. – С.804-811.
113. Минкина, Т.М. Качество зерна пивоваренного ячменя при техногенном загрязнении чернозема обыкновенного / Т.М. Минкина, В.С. Крыщенко, С.В. Федосеенко // Научная мысль Кавказа. – 2003. - №2. – С. 119-123.
114. Намсараева, Г.В. Анализ химического загрязнения почв сельскохозяйственных зон Иркутской области / Г.В. Намсараева // Рациональное природопользование и энергосберегающие технологии в агропромышленном комплексе : материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию Победы в Великой Отечественной войне, 13-15 апр. 2010 г. – Иркутск: ИрГСХА, 2010.-Ч.2.- С.128-134.
115. Нейтрализация загрязненных почв: монография / Под общ.ред. Ю.А. Можайского. – Рязань: Мещерский филиал ГНУ ВНИИГиМ Россельхозакадемии, 2008. – 528с.

116. 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.
117. Николаева, Т.Г. Экологические аспекты безопасности молочных продуктов питания [Электронный ресурс] / Т.Г. Николаева // Научный блог молодых ученых-биологов. – 2009. – Режим доступа: <http://shmain.ru/nauchnye-stati/nikolaeva-t-g-ekologicheskie-aspekty-bezopasnosti-molochnyx-produktov-pitaniya.html>
118. Овчаренко, М.М. Тяжелые металлы в системе почва-растения-удобрения / М.М. Овчаренко // Химия в сельском хозяйстве. – 1995. - №4. – С.8-16.
119. Овчаренко, М.М. Тяжелые металлы в системе почва-растения-удобрения / М.М. Овчаренко. – М.: Пролетарский светоч, 1997. – 290 с.
120. Орлов, Д.С. Экология и охрана биосферы при химическом загрязнении : учеб. пособие для ВУЗов / Д.С. Орлов, Л.К. Садовникова, И.Н. Лозановская. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высшая школа, 2002. – 334с.
121. Первунина, Р.И. Подвижность металлов, выпавших на почву в составе выбросов промышленных предприятий / Р.И. Первунина, С.Г. Малахов // Миграция загрязняющих веществ в почвах и сопредельных средах. – Л.: Гидропромиздат, 1989, - С.97-100.
122. 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.
123. 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.
124. Плешакова, Е.В. Биомониторинг процессов ремедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами [Электронный ресурс] / Е.В. Плешакова, И.Ю. Маркин.

- Е.В. Любань // Экология мегаполисов: фундаментальные основы и инновационные технологии : материалы Всерос. симпозиума, 21-25 ноября 2011 г. – М.: Изд-во «Лесная страна», 2011.- С.111. – Режим доступа: <http://www.agroxxi.ru/shop/fiziologija-rastenii/yekologija-megapolisov-fundamentalnye-osnovy-i-innovacionnye-tehnologii.html>
125. Погодные нормы и условия в Черемховском районе [Электронный ресурс] . – Режим доступа: <http://sfo.spr.ru/pogoda/cheremhovo-i-cheremhovskiy-rayon/>
126. 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.
127. Проект НИИ ИрГТУ получил золотую медаль на международном салоне «Комплексная безопасность – 2011» [Электронный ресурс], 2011 – Режим доступа: <http://www.isse-russia.ru/site.xp/052052050124054057054048>.
128. Прохорова, Н.В. Тяжелые металлы в дикорастущих ореховоплодных и плодово-ягодных растениях Самарской области / Н.В. Прохорова // Пищевые ресурсы дикой природы и экологическая безопасность населения : материалы Междунар. конф., 16-18 ноября 2004 г. – Киров: ВНИИОЗ, 2004. – 221с.
129. Пшенин, В.Н. Актуальные вопросы оценки загрязнения почвенного покрова вблизи автомагистралей // Экологизация автомобильного транспорта : тр. Всерос. науч.-практ. семинара / В.Н. Пшенин. – СПб.: МАНЭБ, 2003. – С. 83-88.
130. Пшонко, Е. Ртутный вопрос получил ответ / Е. Пшонко // Областная общественно-политическая газета. – 2009. – 11 сентября.
131. 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.

132. 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.
133. Ревич, Б.А. «Горячие точки» химического загрязнения окружающей среды и здоровья населения России / Б.А. Ревич; под ред. В.М. Захарова – М.: Акрополь, Общественная палата РФ, 2007. – 129 с.
134. Рыбина, Ю.Н. Содержание мышьяка в почвах г. Свирска (Черемховский район Иркутской области) / Ю.Н. Рыбина, Шаров П.О., Янчук Т.М. // Вестник ИГУ : материалы ежегод. науч.-теоритич. конф. аспирантов и студентов. – Иркутск: Изд-во ИГУ, 2010 – С.74-75.
135. Рылова, Н.Г. Трансформация почвенного покрова в условиях промышленного города и ее воздействие на растительность (на примере г. Ижевска) : дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Рылова Наталья Григорьевна. – Ижевск, 2003. – 262 с.
136. Ряховский, А.В. Содержание тяжелых металлов в почвах и растениях / А.В. Ряховский // Земледелие. – 2004. - №4. – С.26.
137. Садовникова, Л.К. Содержание тяжелых металлов в активных илах, применяемых в качестве органических удобрений / Л.К. Садовникова, С.И. Решетников, Д.В. Ладонин // Почвоведение. – 1993. - №5. – С.29-33.
138. Садовникова, Л.К. Экология и охрана окружающей среды при химическом загрязнении: учеб. пособие для вузов / Л.К. Садовникова, Д.С. Орлов, И.Н. Лозановская. – 4-е изд., стер. – М.: Высшая школа, 2008 – 334с.
139. Свирск. Материал из Википедии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://ru.wikipedia.org/wiki/%D1%E2%E8%F0%F1%EA>
140. Сергеева, Т.Н. Влияние гумуса и подвижного фосфора на концентрации и подвижность тяжелых металлов / Т.Н. Сергеева, Г.И. Анисимова, Е.В. Величко // 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.
141. 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>
142. Сискевич, Ю.И. Использование рапса ярового в качестве фитомелиоранта / Ю.И. Сискевич, Г.Н. Николаева // АгроXXI. – 2008. - №4-6. – С.67-69.
143. Смирнов, А.А. К вопросу о снижении поступления тяжелых металлов в продукцию растениеводства / А.А. Смирнов, З.А. Кирасиров, Н.В. Криушин и др. // Достижения науки и техники АПК. – 2009. - №5. – С.24-26.
144. Смойлов, Б. Два вредных элемента [Электронный ресурс] / Б. Смойлов // Байкальские вести. – 2011. – Режим доступа: <http://baikvesti.ru/arhive/719-2011-05-12-13-43-43>
145. Сокаев, К.Е. Транслокация тяжелых металлов в системе почва-растение / К.Е. Сокаев, В.В. Бестаев, К.Х. Бясов и др. // Агрехимический вестник. - 2004. - №2. – С.16-18.
146. 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.
147. Таевский, Д. Зона смерти / Д. Таевский // Родная Земля. – 2007. – 30 ноября.
148. Терентьева, А. Аккумуляторный завод запасается свинцом / А. Терентьева // Коммерсант. – 2006. – 14 июля.
149. Титова, В.И. Некоторые подходы к экологической оценке загрязнения земельных угодий / В.И. Титова, М.В. Дабахов, Е.В. Дабахова // Почвоведение. – 2004. - №10. – С.1264-1267.

150. Трахтенберг, И.М. Тяжелые металлы во внешней среде: современные гигиенические и токсикологические аспекты : монография / И.М. Трахтенберг, В.С. Колесников, В.П. Луковенко. – Минск: Наука и техника, 1994. – 285 с.
151. 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.
152. Фазлиева, Э.Р. Химическое загрязнение: накопление тяжелых металлов растениями и физиолого-биохимические адаптации [Электронный ресурс] / Э.Р. Фазлиева, Т.В. Жуйкова // Экология мегаполисов: фундаментальные основы и инновационные технологии : материалы Всерос. симпозиума, 21-25 ноября 2011 г. – М.: Изд-во «Лесная страна», 2011. – С.141. – Режим доступа: <http://www.agroxxi.ru/shop/fiziologija-rastenii/yekologija-megapolisov-fundamentalnye-osnovy-i-innovacionnye-tehnologii.html>
153. Федоров, Л.А. Химическое вооружение – война с собственным народом (трагический российский опыт) [Электронный ресурс] / Л.А. Федоров. – М.: Лесная страна, 2009. – т.3. – 384 с. – Режим доступа: [http://www.yabloko.ru/files/doc/Book\\_Fed\\_1.pdf](http://www.yabloko.ru/files/doc/Book_Fed_1.pdf)
154. Флэсс, Н.А. Фиторемедиация почв, подвергшихся загрязнению в результате применения жидких органических удобрений : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 06.01.04 / Флэсс Надежда Андреевна. – М., 2007. – 23 с.
155. Халитов, Н.Г. Содержание в почве тяжелых металлов и их вынос с урожаем / Н.Г. Халитов // Аграрная наука. – 2004. - №3. – С.13-14.
156. Хиндалов, О. Свирск – город аккумуляторный / О. Хиндалов // СМ номер один. – 2002. – 14 ноября.
157. 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.
158. 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.
159. Чернавина, И.А. Физиология и биохимия микроэлементов / И.А. Чернавина. – М.: Высшая школа, 1970. – 309 с.
160. Черников, В.А. Агроэкология: учеб.для студентов ВУЗов по агр. специальностям / В.А. Черников, Р.М. Алексахин, А.В. Голубев и др.; под ред. В.А. Черникова и А.И. Чекереса. – М.: Колос, 2000. – 534 с.
161. Черников, В.А. Экологически безопасная продукция : учеб.пособие для ВУЗов / В.А. Черников, О.А. Соколов. – М.: КолосС, 2009. – 448с.
162. Черных, Н.А. Экологический мониторинг токсикантов в биосфере : монография / Н.А. Черных, С.Н. Сидоренко. – М.: Изд-во РУДН, 2003. – 430 с.
163. Чиркова, Т.В. Физиологические основы устойчивости растений / Т.В. Чиркова. – СПб.: Изд-во СПб.университета, 2002. – 244 с.
164. Шведова, Л.В. Миграция тяжелых металлов в системе «почва-растения» / Л.В. Шведова, Честнокова Т.А., А.В. Невский // Инженерная экология. – 2004. - №6. – С.46-53.
165. Шебалова, Н.М. Оценка состояния почв в зонах техногенного загрязнения / Н.М. Шебалова, С.В. Залесов // Лесное хозяйство. – 2006. - №2. – С.33-35.
166. Шпис, Т.Э. Агроэкологический мониторинг окружающей среды на реперных участках / Т.Э Шпис, В.Н. Сарыкин, С.Н. Даммер // Плодородие. – 2008. - №5. – С.4-5.
167. Явербаум, П.М. Общие вопросы токсического действия свинца / П.М. Явербаум. – Иркутск, 2006. – 344с.
168. 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.

169. Vetter, H. Immision stofbelastung in der Nachbarschaft einer Blei und Zinkhutte /  
H. Vetter, R. Medlhop // Berichte uber Landwirtschaft. – 1974. – Bd.52. – S. 327-  
350

Приложение 1 – Принципиальная схема оценки почв сельскохозяйственного использования, загрязненных химическими веществами

Категория загрязненности почв	Характеристика загрязненности	Возможное использование территории	Предлагаемые мероприятия
I. Допустимая	Содержание химических веществ в почве превышает фоновое, но не выше ПДК	Использование под любые культуры	Снижение уровня воздействия источников загрязнения почвы. Осуществление мероприятий по снижению доступности токсикантов для растений (известкование, внесение органических удобрений и т.п.)
II. Умеренно опасная	Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем общесанитарном, миграционном водном и миграционном воздушном показателях вредности, но ниже допустимого уровня по транслокационному показателю	Использование под любые культуры при условии контроля качества сельскохозяйственных растений	Мероприятия, аналогичные категории I. При наличии веществ с лимитирующим миграционным водным или миграционным воздушным показателями проводится контроль за содержанием этих веществ в зоне дыхания с/х рабочих и в воде местных водоисточников
III. Высоко опасная	Содержание химических веществ в почве превышает их ПДК при лимитирующем транслокационном показателе вредности	Использование под технические культуры. Использование под сельскохозяйственные культуры с учетом растений-концентраторов	1. Кроме мероприятий, указанных для категории I, обязательный контроль за содержанием токсикантов в растениях - продуктах питания и кормах. 2. При необходимости выращивания растений - продуктов питания рекомендуется их перемешивание с продуктами, выращенными на чистой почве. 3. Ограничение использования зеленой массы на корм скоту с учетом растений-концентраторов
IV. Чрезвычайно опасная	Содержание химических веществ превышает ПДК в почве по всем показателям вредности	Использование под технические культуры или исключение из сельскохозяйственного использования. Лесозащитные полосы	Мероприятия по снижению уровня загрязнения и связыванию токсикантов в почве. Контроль за содержанием токсикантов в зоне дыхания с/х рабочих и в воде местных водоисточников

Приложение 2 – Предельно допустимые концентрации (ПДК) химических веществ в почве и допустимые уровни их содержания по показателям вредности

Наименование вещества	ПДК мг/кг почвы с учетом фона	Показатели вредности			
		транслокационный	миграционный		Общесанитарный
			водный	воздушный	
Подвижная форма					
Медь	3,0	3,5	72,0	-	3,0
Никель	4,0	6,7	14,0	-	4,0
Цинк	23,0	23,0	200,0	-	37,0
Кобальт	5,0	25,0	>1000,0	-	5,0
Водорастворимая форма					
Фтор	10,0	10,0	10,0	-	25,0
Валовая форма					
Мышьяк	2,0	2,0	15,0	-	10,0
Свинец	30,0	35,0	260,0	-	30,0
Ртуть	2,1	2,1	33,3	2,5	5,0
Марганец	1500,0	3500,0	1500,0	-	1500,0

Приложение 3 – Ориентировочная оценочная шкала опасности загрязнения почв по суммарному показателю ( $Z_c$ )

Категория загрязнения почв	Величина ( $Z_c$ )	Изменения показателей здоровья населения в очагах загрязнения
Допустимая	<16	Наиболее низкий уровень заболеваемости детей и минимальная частота встречаемости функциональных отклонений
Умеренно опасная	16-32	Увеличение общей заболеваемости
Опасная	32-128	Увеличение общей заболеваемости, числа часто болеющих детей, детей с хроническими заболеваниями, нарушениями функционального состояния сердечнососудистой системы
Чрезвычайно опасная	>128	Увеличение заболеваемости детского населения, нарушение репродуктивной функции женщин (увеличение токсикоза беременности, числа преждевременных родов, мертворождаемости, гипотрофий новорожденных)