

Министерство сельского хозяйства Российской Федерации

**Иркутский государственный аграрный университет
имени А.А. Ежевского**

Кафедра агроэкологии и химии

Биоремедиация почв

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

Молодежный 2020

УДК 504.5:628.4.045(072) + 502.521(072)

Б 636

Рассмотрено и рекомендовано к изданию методической комиссией Агрономического факультета Иркутского ГАУ имени А.А. Ежевского (протокол № 4 от 15.12. 2020 г.)

Составители: Клименко Н.Н., Замашиков Р.В.

Рецензент: доцент кафедры земледелия и растениеводства, к.б.н. Е.В. Бояркин

Биоремедиация почв : учебно-методические указания / Иркут. гос. аграр. ун-т им. А. А. Ежевского ; сост.: Н. Н. Клименко, Р. В. Замашиков. – Молодежный : Изд-во ИрГАУ, 2021. – 32 с. – Текст : электронный.

Учебно-методические указания включают в себя теоретический материал по изучению дисциплины, методические рекомендации по написанию и оформлению контрольной работы, контрольные вопросы, глоссарий.

Рекомендуется в качестве дополнительного материала при подготовке к текущей и промежуточной аттестации студентами направления подготовки 35.04.03 Агрохимия и агропочвоведение очной и заочной форм обучения.

© Клименко, Н.Н., Замашиков, Р.В., 2020

© Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского, 2020

Содержание

Введение	4
1 Экологические проблемы агроэкосистем	7
2 Характеристики, виды, преимущества и недостатки биоремедиации	9
3 Фиторемедиация как перспективный метод очистки почв, загрязненных тяжелыми металлами	14
4 Особенности загрязнения природной среды Иркутской области тяжелыми металлами и мышьяком	19
5 Методы детоксикации тяжелых металлов и получения экологически безопасной продукции	23
6 Требования к оформлению контрольной работы	26
6.1 Требования к структуре контрольной работы	26
6.2 Требования к оформлению контрольной работы	26
7 Номера заданий согласно шифру	28
8 Теоретические задания (вопросы) контрольной работы	30
Рекомендуемая литература	32

Введение

Проблема выявления загрязненных химическими веществами территорий стала привлекать внимание государственных и местных органов управления развитых зарубежных стран главным образом в последние 30–40 лет. Так, в США Федеральная программа по этой проблеме осуществляется с 1981 г., в Канаде – с 1989 г. (в отдельных провинциях раньше), в Англии и Нидерландах – с 1987 г., во Франции – с 1984 г., в ФРГ – с 1970 г. (Sheppard S.C., Gaudet C., Sheppard H.I. et al.). В настоящее время во многих странах не только активно выполняются исследования по выявлению и инвентаризации зон техногенного загрязнения, но и большое внимание уделяется развитию технологий их очистки, в значительных масштабах проводятся работы по деcontаминации (decontamination – обеззараживание, очистка) или, как сейчас пишут в англоязычной литературе, по ремедиации (remediation – восстановление, «излечение») химически загрязненных почв, почвогрунтов и подземных (грунтовых) вод в пределах городов и промышленных территорий.

С эколого-гигиенической точки зрения опасность техногенного загрязнения городских почв определяется (Глазовская М.А., 1988; Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1991; Кабата-Пендиас А., Пендиас Х., 1987; Рэуце К., Кырстя С.; Сагт Ю.Е., Ревич Б.А., 1986, 1988; Сагт Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др., 1990; Шлегель Г., 1987):

- 1) эпидемиологической значимостью загрязненной химическими веществами почвы;
- 2) ролью почвы как вторичного источника загрязнения приземного слоя атмосферного воздуха, природных вод, жилой и производственной среды;
- 3) возможностью опосредованного и непосредственного воздействия загрязненной почвы, обладающей повышенным токсическим потенциалом, на человека и другие живые организмы;
- 4) важностью почвы как универсального абсорбента и биологического нейтрализатора поллютантов, осуществляющего минерализацию многих органических веществ;
- 5) изменением буферной способности и снижением биоактивности почвы в условиях интенсивного загрязнения.

Техногенное загрязнение почв приводит к изменению количественного и группового состава обитающих в них микроорганизмов. В загрязненной почве на фоне уменьшения истинных представителей почвенных микробценозов (антагонистов патогенной кишечной микрофлоры) и снижения ее биоактивности отмечается увеличение положительных находок патогенных энтеробактерий и геогельминтов, которые более устойчивы к химическому загрязнению, нежели представители естественных почвенных микробценозов. Загрязненные почвы оказывают влияние на формирование

химического состава городской пыли, присутствующей в воздухе, в том числе в помещениях, и часто обогащенной тяжелыми металлами (Thornton I.).

Химический состав почв сказывается на качестве агропродукции, выращиваемой в промышленноурбанизированных районах, и состоянии городских насаждений, а поверхностный сток и фильтрация атмосферных осадков приводят к поступлению поллютантов в поверхностные водные объекты и грунтовые воды.

Проблема ремедиации загрязненных земель (причем, не только городских) для России является актуальной. Так, обследование интенсивности загрязнения тяжелыми металлами 31,1 млн. га сельскохозяйственных земель страны (примерно 14% от общего фонда сельскохозяйственных земель) установило, что 519 тыс. га загрязнено Pb, 184 тыс. га – Cd, 326 тыс. га – Zn, 71 тыс. га – Cr, 527 тыс. га – Ni, 1416 тыс. га – Cu, 328 тыс. га – Co (Государственный доклад, 1996).

Кроме того, в 1996 г. органами Госкомэкологии РФ было выявлено более 16 тыс. объектов захламления земель на общей площади 32 тыс. га, около 9 тыс. га отведено под временное накопление отходов. В настоящее время земли населенных пунктов в России составляют 20,9 млн. га, еще 17,6 млн. га относится к землям промышленности, транспорта, энергетики и т. п. В самой населенной области России – Московской – земли населенных пунктов составляют 10,5%, земли промышленности, транспорта, связи – 6,4%. По данным (Государственный доклад, 1998), около 10% городов страны имеют высокий уровень загрязнения среды обитания, в том числе почв.

Наиболее острыми экологическими проблемами городского землепользования считаются загрязнение, захламление и нарушение земель, недостаточные объемы их рекультивации.

Отмечается также постоянный рост площади земель, подверженных загрязнению выбросами промышленных предприятий. Результаты государственного контроля использования и охраны земель, например, в водоохраных зонах водных объектов страны также показывают, что наиболее распространенными видами экологических нарушений являются загрязнение земель химическими и радиоактивными веществами, производственными отходами и сточными водами, а также их захламление. Научные публикации свидетельствуют о том, что интенсивность и масштабы загрязнения почвенного покрова в городах и их пригородах еще более значительны (Груздев М.В., 1990; Мырлян Н.Ф., Настас Г.И., Милкова Л.Н.; Саев Ю.Е., Ревич Б.А., Янин Е.П. и др, 1990; Смирнова Р.С., Павлова Л.Н., 1982; Экогеохимия городских ландшафтов, 1995; Янин Е.П., 1998).

Цель освоения дисциплины:

- формирование научных представлений об основных положениях экологии почв, как науки о надорганизменных системах. Углубление знаний

о современных экологических проблемах сельскохозяйственного использования земель; о свойствах почв, как полифункциональной системы, обеспечивающей устойчивое развитие агроэкосистем

Основные задачи освоения дисциплины:

- рассмотреть функции почв в биосфере и экосистемах;
- изучить группы педобионтов как составные звенья биогенного круговорота в почве;
- овладеть методами биологической диагностики и оценки продуктивности почв и основами рационального землепользования.

1. Экологические проблемы агроэкосистем

Агроэкосистемы или аграрные экологические системы, это сознательно спланированные территории, на которых сбалансировано получение сельскохозяйственной продукции и возврат ее составляющих на поля для обеспечения круговорота минеральных и органических веществ. В правильно спланированные агроэкосистемы, кроме пашен, входят пастбища или луга и животноводческие комплексы.

Отличительные особенности функционирования агроэкосистем по сравнению с природными экосистемами состоят в следующем:

1) агроценозы находятся вне сферы естественного отбора; эти системы создаются и поддерживаются человеком;

2) агроценозы получают наряду с солнечной энергией дополнительное количество энергии, которое вносит в них человек (для антропогенной энергии составляет 5-10%);

3) агроценоз полевых культур – сообщество монодоминантное, чаще односортовое. Угнетение роста и развития основной культуры не может быть компенсировано усиленным ростом других видов растений. В результате устойчивость продуктивности агроценоза ниже, чем в естественных экосистемах;

4) в агроценозах период вегетации культивируемых растений короче вегетационного сезона. Время взаимодействия фитокомпонента с почвой намного короче, чем в естественных ценозах, что определяет интенсивность обменных процессов;

5) в агроценозах круговорот химических веществ не компенсирован, часть вещества изымается из экосистемы безвозвратно. В агроценозах с хозяйственно полезной продукцией отчуждается 50-60% органического вещества от его количества, аккумулированного в продукции;

6) природные экосистемы являются системами авторегуляторными; агроценозы – управляемыми человеком.

Под влиянием различных антропогенных воздействий изменяются различные свойства почв и сопредельных земель, что определяет особенности проведения мониторинга нарушенных территорий. Деграляция почв, рельефа, пород, вод и растительности происходит под влиянием отраслей производства, животноводства, птицеводства, механизации и в районах поселков, складов, технических сооружений. На свойства почв и сопредельных компонентов экологической системы влияют органические удобрения, минеральные удобрения, средства защиты растений, воздействие техники, нефтепродуктов, распашка территории, развитие водной и ветровой эрозии, осушения, орошения почв, их уплотнения, продукты селитебных зон, складов, технических сооружений, центров механизации и т. д. При проведении мониторинга земель сельскохозяйственного использования

отмечаются следующие особенности объекта:

- большие площади нарушенных или деградированных земель;
- в ряде случаев негативное воздействие на систему нельзя прекратить, что определяется необходимостью получения продуктов питания;
- длительность воздействия;
- комплексность воздействия многих факторов деградации на систему;
- увеличивается миграция веществ из почв в водную и воздушную среду;
- очень сильное влияние на биоту полей и сопредельных территорий;
- для агрофитоценозов характерно коренное изменение объекта, изменение не только свойств, но также протекающих процессов и режимов, трофических цепей; происходит создание нового рельефа, новых почв, коренное изменение растительного покрова (это наблюдается при разработке торфяных месторождений, осушении, орошении, планировании рельефа территории, устройстве водохранилищ, лесных полос);
- изменения в агрофитоценозе под влиянием антропогенных воздействий в большинстве случаев целенаправлены; однако при этом повышение урожайности часто сопровождается изменением устойчивости систем, деградацией почв, вод и других компонентов экологических систем;
- деградация систем возникает при превышении допустимых уровней нагрузки на них, однако это сопровождается как увеличением количества токсикантов и биофильных элементов в почвах, так и обеднением почв. При этом обеднение почв элементами питания также сопровождается деградацией почв и сопредельных компонентов экологической системы.

Самым важным показателем, определяющим эффективность агроэкосистем, является качество почв. От него зависит не только химический и биохимический состав продукции растениеводства, овощеводства, садоводства, но и особенности ее хранения, транспортировки и переработки, стоимость на мировом рынке. Качество почв в значительной степени определяет качество чая, кофе, виноградных вин, продукции животноводства, качество льна и хлопка, возможность их окраски, качество каракуля и овчины и т. д. Качество почв и земель, а следовательно, параметры мониторинга, в значительной степени зависят от характера использования земель и уровня интенсификации сельскохозяйственного производства. Почвы, оптимальные для выращивания елей, не пригодны для выращивания полевых культур, почвы, хорошие для выращивания овощей в поймах рек, не подходят для садов и т. д. При определении степени деградации почв они также в различной степени пригодны под те или иные культуры. Определенными особенностями обладает проведение мониторинга и при действии на почву разных факторов деградации. При рекреационных нагрузках и депрессии оценивается их влияние на плотность почв,

проективное покрытие, состав ассоциаций, состав биоты, гумус, развитие водной и ветровой эрозии, опустынивание. Уменьшение биопродуктивности угодий приводит и к уменьшению свежееобразованного органического вещества, а следовательно, к уменьшению структурообразующей, комплексообразующей способности почвенного раствора, его биологической активности и протекторной функции. Это приводит к изменению воднофизических свойств почв и почвенных вод, воздуха во всех основных сельскохозяйственных районах.

Увеличение общей антропогенной нагрузки на природную среду, сопровождающееся интенсификацией сельскохозяйственного производства, привело в последние десятилетия к значительному ухудшению качественного состояния земельных ресурсов. В результате низкой культуры земледелия, использования мощной техники с большим удельным давлением на грунт, недостаточного либо избыточного внесения минеральных и органических удобрений в пашню происходят процессы деградации сельскохозяйственных земель, выражающиеся в низкой биологической активности почв, обеднении их плодородного слоя, проявлении процессов эрозии, переувлажнения и заболачивания земель.

Интенсификация земледелия, основанная на широком применении удобрений, внедрении современных технологий обработки почвы, научно обоснованных севооборотов, высокопродуктивных сортов сельскохозяйственных культур, современных высокоэффективных пестицидов, обеспечила доведение среднегодовой продуктивности полевых севооборотов до 5-7 т/га и более в пересчете на зерновые единицы.

В районах орошаемого земледелия требуется более обстоятельный учет влияния орошения, средств химизации и других факторов на плодородие почв, урожайность и качество получаемой продукции, минерализацию и загрязнение поверхностных и грунтовых вод.

2. Характеристики, виды, преимущества и недостатки биоремедиации

Биоремедиация представляет собой набор биотехнологий санитарии окружающей среды, которые используют метаболические возможности бактериальных микроорганизмов, грибов, растений и / или их выделенных ферментов, для устранения загрязнений в почве и воде.

Микроорганизмы (бактерии и грибки) и некоторые растения могут биотрансформировать широкий спектр токсичных и загрязняющих органических соединений, делая их безвредными. Они могут даже биоразлагать некоторые органические соединения до их самых простых форм, таких как метан (CH₄) и углекислый газ (CO₂).

Также некоторые микроорганизмы и растения могут извлекать или

обездвиживать в окружающей среде (*на месте*) токсичные химические элементы, такие как тяжелые металлы. Имобилизуя токсичное вещество в окружающей среде, оно больше не доступно для живых организмов и, следовательно, не влияет на них.

Следовательно, снижение биодоступности токсичного вещества также является формой биоремедиации, хотя это не означает удаления вещества из среды.

В настоящее время наблюдается растущий научный и коммерческий интерес к разработке экономических технологий с низким воздействием на окружающую среду (или «экологически чистых»), таких как биоремедиация поверхностных вод, подземных вод, осадка и загрязненной почвы.

Характеристики биоремедиации. В число загрязнителей, которые могут быть биоремедированы, входят тяжелые металлы, радиоактивные вещества, токсичные органические загрязнители, взрывчатые вещества, органические соединения, полученные из нефти (полиароматические углеводороды), фенолы и другие.

Поскольку процессы биоремедиации зависят от активности микроорганизмов и живых растений или их изолированных ферментов, необходимо поддерживать соответствующие физико-химические условия для каждого организма или ферментативной системы, чтобы оптимизировать их метаболическую активность в процессе биоремедиации.

Факторы, которые необходимо оптимизировать и поддерживать на протяжении всего процесса биоремедиации:

-Концентрация и биодоступность загрязнителя в условиях окружающей среды: потому что, если он слишком высок, он может быть вредным для тех же микроорганизмов, которые способны их биотрансформировать.

-Влажность: наличие воды необходимо для живых организмов, а также для ферментативной активности бесклеточных биологических катализаторов. Как правило, относительная влажность от 12 до 25% должна поддерживаться в почвах, подвергающихся биоремедиации.

-Температура: должна быть в диапазоне, обеспечивающем выживание применяемых организмов и / или требуемую ферментативную активность.

-Биодоступные питательные вещества: необходимы для роста и размножения представляющих интерес микроорганизмов. В основном необходимо контролировать углерод, фосфор и азот, а также некоторые важные минералы.

-Кислотность или щелочность водной среды или pH.

-Доступность кислорода: в большинстве методов биоремедиации используются аэробные микроорганизмы. Однако анаэробные микроорганизмы могут быть использованы в процессах биоремедиации в строго контролируемых лабораторных условиях (с использованием биореакторов).

Среди прикладных биоремедиационных биотехнологий можно выделить следующие типы биоремедиации:

Биостимуляция состоит из стимуляции *на месте* из тех микроорганизмов, уже присутствующих в загрязненной среде (автохтонные микроорганизмы), способных к биоремедиации загрязняющего вещества.

Она достигается путем оптимизации физико-химических условий для желаемого процесса, т.е. рН, кислород, влажность, температура, среди прочего, и добавление необходимых питательных веществ.

Биоаугментация подразумевает увеличение количества представляющих интерес микроорганизмов (предпочтительно автохтонных) благодаря добавлению их инокулятов, культивируемых в лаборатории.

Впоследствии, как только интересующие микроорганизмы были привиты *на месте*, физико-химические условия должны быть оптимизированы (например, при биостимуляции), чтобы способствовать ухудшению активности микроорганизмов. Для применения биоаугментации следует учитывать стоимость микробной культуры в биореакторах в лаборатории.

И биостимуляция, и биоаугментация могут сочетаться со всеми другими биотехнологиями, описанными ниже.

Компостирование состоит из смешивания загрязненного материала с незагрязненной почвой, дополненной растительными или животными улучшающими агентами и питательными веществами. Эта смесь образует шишки до 3 м высотой, отделенные друг от друга.

Оксигенация нижних слоев колбочек должна контролироваться путем регулярного удаления из одного места в другое с помощью оборудования. Оптимальные условия влажности, температуры, рН, питательных веществ, среди прочего, также должны поддерживаться.

Техника биоремедиации с биопилями такая же, как методика компостирования, описанная выше, за исключением:

- Отсутствие улучшающих агентов растительного или животного происхождения.
- Устранение аэрации при движении из одного места в другое.

Биопленки остаются зафиксированными в одном и том же месте, будучи проветриваемыми в своих внутренних слоях через систему труб, затраты на монтаж, эксплуатацию и обслуживание которых должны учитываться на этапе проектирования системы.

Запахивание в почву. Биотехнология, называемая «земледелие» (перевод с английского: высеченный из земли), состоит из смешивания загрязненного материала (грязи или осадка) с первыми 30 см незагрязненной почвы обширной земли.

В этих первых сантиметрах почвы деградация загрязняющих веществ благоприятна благодаря ее аэрации и перемешиванию. Для этой работы используется сельскохозяйственная техника, такая как тракторные плуги.

Основным недостатком земледелия является то, что оно обязательно требует больших площадей земли, которые могут быть использованы для производства продуктов питания.

Фиторемедиация, также называемая биоремедиацией с помощью микроорганизмов и растений, представляет собой набор биотехнологий, основанных на использовании растений и микроорганизмов для удаления, ограничения или снижения токсичности загрязняющих веществ в поверхностных или подземных водах, илах и почве.

Во время фиторемедиации может происходить деградация, экстракция и / или стабилизация (снижение биодоступности) загрязнителя. Эти процессы зависят от взаимодействия растений и микроорганизмов, которые живут очень близко к своим корням, в области, называемой *ризосфера*.

Фиторемедиация была особенно успешной в удалении тяжелых металлов и радиоактивных веществ из почвы и поверхностных или подземных вод (или ризофильтрации загрязненных вод).

В этом случае растения накапливают в своих тканях металлы окружающей среды, а затем их собирают и сжигают в контролируемых условиях, так что загрязняющее вещество переходит от рассеивания в окружающей среде к концентрации в виде пепла.

Полученный пепел можно обработать для извлечения металла (если это представляет экономический интерес), или его можно оставить в местах окончательной утилизации отходов.

Недостатком фиторемедиации является отсутствие глубоких знаний о взаимодействиях, которые происходят между вовлеченными организмами (растениями, бактериями и, возможно, микоризными грибами).

С другой стороны, должны поддерживаться условия окружающей среды, отвечающие потребностям всех применяемых учреждений.

Биореакторы представляют собой контейнеры значительных размеров, которые позволяют поддерживать строго контролируемые физико-химические условия в водных культуральных средах, чтобы способствовать интенсивному биологическому процессу.

В биореакторах бактериальные микроорганизмы и грибы можно выращивать в больших масштабах и в лаборатории, а затем применять в процессах биоаугментации *на месте*. Микроорганизмы могут также культивироваться в интересах получения их загрязняющих ферментов, разрушающих ферменты.

Биореакторы используются в процессах биоремедиации *ex situ*, когда загрязненный субстрат смешивают с микробной культуральной средой, способствуя деградации загрязнителя.

Микроорганизмы, выращенные в биореакторах, могут быть даже анаэробными, и в этом случае в водной культуральной среде не должно быть растворенного кислорода.

Среди биотехнологий биоремедиации использование биореакторов относительно дорогое из-за обслуживания оборудования и требований к микробной культуре.

Микроремедиация – это использование грибковых микроорганизмов (микроскопических грибов) в процессах биоремедиации токсичного

загрязняющего вещества.

Следует учитывать, что выращивание микроскопических грибов, как правило, более сложное, чем культивирование бактерий, и, следовательно, предполагает более высокие затраты. Кроме того, грибы растут и размножаются медленнее, чем бактерии, причем биоремедиация с помощью грибов является более медленным процессом.

Преимущества биоремедиации против обычных физико-химических технологий заключаются в том, что биотехнологии биоремедиации намного более экономичны и безопасны для окружающей среды, чем технологии химической и физической санитарии окружающей среды, которые обычно применяются. Это означает, что применение биоремедиации оказывает меньшее воздействие на окружающую среду, чем обычные физико-химические методы.

С другой стороны, среди микроорганизмов, применяемых в процессах биоремедиации, некоторые могут продолжать минерализовать загрязняющие соединения, обеспечивая их исчезновение из окружающей среды, чего трудно достичь за один этап с помощью обычных физико-химических процессов.

Учитывая, что только 1% микроорганизмов, существующих в природе, были выделены, одним из ограничений биоремедиации является именно идентификация микроорганизмов, способных к биоразложению определенного загрязняющего вещества.

Биоремедиация работает со сложной системой из двух или более живых организмов, которая, как правило, не полностью известна.

Некоторые исследованные микроорганизмы биотрансформировали загрязняющие соединения в еще более токсичные побочные продукты. Поэтому необходимо предварительно изучить в лаборатории биоремедиационные организмы и их взаимодействие в глубине.

Кроме того, небольшие экспериментальные испытания (в полевых условиях) должны проводиться перед их массовым применением, и, наконец, процессы биоремедиации должны контролироваться, чтобы экологическая санитария происходила правильно.

Из-за высокой сложности биологических систем результаты, полученные в небольших масштабах в лаборатории, не всегда можно экстраполировать на полевые процессы.

Каждый процесс биоремедиации включает в себя конкретный экспериментальный дизайн в соответствии с конкретными условиями загрязненного участка, типом загрязняющего вещества, подлежащего обработке, и организмами, подлежащими применению.

Необходимо, чтобы этими процессами руководили междисциплинарные группы специалистов, среди которых были биологи, химики, инженеры и другие.

Поддержание физико-химических условий окружающей среды для стимулирования роста и метаболической активности, представляющей

интерес, подразумевает постоянную задачу в процессе биоремедиации.

Процессы биоремедиации могут занять больше времени, чем обычные физико-химические процессы.

3. Фиторемедиация как перспективный метод очистки почв, загрязненных тяжелыми металлами

Термин «фиторемедиация» (фито - растение, ремедиация - возмещение ущерба) возник совсем недавно. Американский ученый И. Раскин применил его впервые в 1994 г. «По словам самого Раскина, началом фиторемедиации можно считать те времена, когда человек начал осушать болота, применяя целенаправленную рассадку деревьев, обладающих требуемыми характеристиками» (Квеситадзе и др., 2005). Фиторемедиация сегодня представляет собой способ выведения токсикантов из почв, грунтов, вод с использованием растений и микроорганизмов (Chaney et al., 1997; Salt et al., 1998). Фиторемедиационные технологии эффективны при детоксикации больших площадей почв, в результате чего происходит постепенное удаление загрязняющих веществ, при этом структура и свойства почвы остаются незатронутыми.

Часто при оздоровлении почв совместное действие микроорганизмов и растений носит симбиотический характер. Однако микроорганизмы уступают растениям тем, что ввиду их более ускоренного метаболизма и быстрой адаптации токсиканты вновь выводятся из клеток, несмотря на высокую аккумулирующую способность к поллютантам отдельных таксономических групп микроорганизмов, и остаются в почве. В конечном счете все это не способствует ремедиации почв. Растения же способны своими корневыми системами аккумулировать токсиканты и транспортировать их в надземные органы, тем самым очищая почву.

Технологии фиторемедиации базируются на различных методологических подходах и во многом зависят от поставленной перед ними задачи. Природа токсиканта, его концентрация, сам объект, нуждающийся в ремедиации, определяют форму и разнообразие возможных фиторемедиационных технологий. Естественно, не следует рассматривать фиторемедиацию как абсолютно всемогущее средство, способное быстро и дешево избавить объект от любой формы загрязнения. Так, например, растения не могут ассимилировать полихлорированные бифенилы и диоксины – соединения, которые в последнее время все больше загрязняют биосферу.

Современная фиторемедиация располагает двумя стратегиями использования растений для детоксикации тяжелых металлов в почвах (Прасад, 2003; Salt et al., 1998). Одна основана на использовании металлспецифичных растений – сверхнакопителей, которые в огромных

количествах избирательно поглощают один или два металла (Salt et al., 1998; Palmer et al., 2001). Вторая стратегия предполагает применение высокопродуктивных растений, которые формируют большую надземную биомассу и способны к сравнительно невысокой аккумуляции широкого спектра тяжелых металлов (Титов и др., 2007; Greger, 1999).

Сегодня в фиторемедиационной технологии можно выделить такие инструменты, как: фитоэкстракция, ризофилтрация, ризодеградация, фитодеградация, фитоволотализация (испарение при помощи растений), гидравлический контроль и др.

Перед применением какой-либо из экофитотехнологий проводят предварительное тщательное исследование объекта, нуждающегося в ремедиации. В первую очередь необходимо определить характер токсичного соединения, загрязняющего объект, установить его концентрацию и глубину проникновения в почву. Затем стоит выявить почвенные характеристики: тип почвы, примерное количество осадков в период фиторемедиации, наличие и глубину залегания грунтовых вод. В конечном итоге по полученным данным выбирается метод фиторемедиации, в том числе и селективный отбор растений и микроорганизмов, которые требуются для каждой конкретной технологии (Квеситадзе и др., 2005).

Для очистки почв, зараженных тяжелыми металлами, обычно используется *фитоэкстракция*. Технология этого метода заключается в следующем: корнями растений вместе с питательными веществами поглощаются как органические, так и неорганические токсиканты (в т. ч. тяжелые металлы) и осуществляется их последующий транспорт в надземные органы растений. По завершении фазы роста и процессов транслокации надземные органы растений удаляются и подлежат соответствующей переработке. Растения следует отбирать экспериментально, исходя из фиторемедиационных особенностей самих растений и почвенно-климатических характеристик участка почвы, подлежащего восстановлению. При очистке почв парников эта технология оказалась особенно эффективной (Kumar, 1995).

После подобной обработки зараженного объекта фитомасса растений может служить источником для выделения тяжелых металлов. Для этого растения-ремедиаторы сжигают и из золы восстанавливают тяжелые металлы. Известны и другие случаи утилизации фитомассы, полученной после фитоэкстракции. Биомассу растений, содержащую Se, использовали как добавку в корм животным при условии, что она не токсична (Salt, Smoth, 1998). Биомассу растений, содержащую цинк и медь, можно использовать в качестве удобрений для почв, испытывающих нехватку цинка и меди как эссенциальных микроэлементов (Неведров, 2014).

Эффективность фитоэкстракции для каждого конкретного случая должна определяться на основе полученных данных. Она может быть оценена по продолжительности её применения от начала до достижения полного восстановления зараженных почв, что в среднем занимает 10-20 лет

с учетом того, что уровень загрязнения почвы не будет токсичным для роста растений-фиторемедиаторов. Время, затраченное на очистку, будет в первую очередь зависеть от степени загрязненности почв, от свойств этих почв и используемых растений.

Естественно, биомасса растений, содержащих повышенную концентрацию тяжелых металлов, должна быть соответствующим образом переработана. Часто выделение тяжелых металлов из золы обходится дороже их себестоимости, в таком случае фитомассу сжигают или используют для компоста в зависимости от содержания токсиканта (Raskin, Kumar, 1994).

Важным критерием при определении эффективности растений, используемых в фитоэкстракции, является так называемый коэффициент фитоэкстракции. На основе данных зарубежных авторов известно, что оценкой аккумулирующей способности растений по отношению к тяжелым металлам служит понятие «фитоэкстрагирующий потенциал» (ФЭП). Его величина зависит от мобильности тяжелых металлов в почве и доступности их для растительных организмов (Saraswat, Rai, 2009; E.C.H.E.T. Lucassen et al., 2010). ФЭП растения составляют следующие параметры:

- биоконцентрационный фактор (БКФ) (или коэффициент биологического накопления) – отношение концентрации металла в корнях растения к его содержанию в почве;
- транслокационный фактор (ТФ) – отношение концентрации металла в побегах к его содержанию в корнях (Saraswat, Rai, 2009).

Именно по этим коэффициентам осуществляется селекция растений для фитоэкстракции (Квеситадзе и др., 2005).

В отношении к тяжёлым металлам некоторые растения обладают свойствами супераккумуляции. Примером является горчица сарептская (*Brassica juncea*), в клетках и межклетниках которой накапливается от 1 до 1,7 % цинка (Banuelos, Meek, 1989; Salt, 1998; Ernst, 2000). Многие растения семейства крестоцветных обладают высокой аккумулирующей способностью к целому ряду тяжёлых металлов, также обнаружены гипераккумуляторы и среди других семейств. Аграриям-практикам хорошо знаком широкий спектр растений (около 400 разных видов), депонирующих токсичные металлы, такие как Zn, Ni, Se, Co, Si, Mn, Pb (Baker, Mcrath, 1995). На сегодняшний день для свинца известно 30 видов растений-гипераккумуляторов, для кобальта – 26, меди – 24, цинка – 18, марганца – 8, кадмия – 1 (Cunningham, 1996; Brooks, 1998; EPA. Introduction..., 2000; Assunçao, 2003).

Природные сверхнакопители тяжелых металлов. Растения-гипераккумуляторы имеют ограниченные пределы накопления тяжелых металлов в своих органах, для каждого металла порог аккумуляции индивидуален. Данные растения преодолевают большинство физиологических барьеров, препятствующих поступлению металлов в побеги. Сверхнакопители тяжелых металлов проявляют толерантность к их токсическому действию (Таблица 1).

Е.И. Кошкин (2010) сообщает, что «в природе растения-

гипераккумуляторы чаще всего приурочены к зонам сильного загрязнения металлами или же к местностям, где содержание металлов в почвах необычайно высоко. Первыми наземными растениями, описанными как сверхнакопители тяжелых металлов, были представители рода *Thlapsi*, которые имеют способность к накоплению цинка, кадмия и свинца, а также представители рода *Alyssum*, накапливающие никель. Значительный интерес представляют аккумулятор цинка (*Thlapsi caerulescens*), аккумулятор свинца (*Armeria maritime*) и два африканских вида растений (*Aeolanthus biformifolius* и *Hawnaniastrum katangense*), способные накапливать медь и кобальт» (Кошкин, 2010). Хронологически позднее были описаны гипераккумуляторы селена и свинца - *Brassica juncea* и *Brassica nigra* (Кошкин, 2010).

Таблица 1 – Растения, используемые для фитоэкстракции тяжёлых металлов (Квеситадзе и др., 2005)

Растение	Тяжелый металл
<i>Brassica juncea</i>	Pb, Cr (VI), Cd, Cu, Ni, Zn, Sr, B, Se
<i>Thlapsi caerulescens</i>	Ni, Zn
<i>Thlapsi rotundifolium</i> ssp. <i>Cepaeifolium</i>	Pb
<i>Alyssum wulfenianum</i>	Ni
<i>Hibiscus cannabinus</i>	Se
<i>Populus</i>	As, Cd
<i>Sorghum vulgare</i> , <i>Helianthus annuus</i>	Cs, Sr
<i>Medicago sativa</i> , <i>Zea mays</i>	Pb, Zn, Hg, Ni

Очень часто в качестве накопителей выступают и обычные полевые культуры – подсолнечник и фасоль. Растения-сверхнакопители произрастают в основном на загрязненных металлами почвах и депонируют их в побегах до содержания, на 1-3 порядка превышающего концентрации металлов в органах произрастающих рядом растений не гипераккумуляторов. В литературе описано сверхнакопление (% от биомассы надземных органов) для таких металлов как кадмий (до 0,2 %), кобальт (до 1,2 %), никель (до 3,8 %) и цинк (до 4 %) (Кошкин, 2010; Tangahu, 2011).

Ключевая роль в успешном проведении очистки загрязненных тяжелыми металлами почв методом фитоэкстракции заключается в правильном подборе высокопродуктивных растений с высокой скоростью выноса элементов-загрязнителей почвы, характерных для данных почвенно-

климатических условий (Андреева, 2010).

С этой целью рекомендуются такие культуры, как козлятник (*Galega*) и борщевик (*Heracleum*) (Дричко, 2006), топинамбур (*Helianth tuberosus*) и горец сахалинский (*Fallopiasa chalinensis*) (Цугкиев, 2004), растения семейства бобовых (*Fabaceae*) (Зудилин, 2006), рапс яровой (*Brassi nupus*) (Сискевич, 2008), горчица сарептская (*Brassica juncea*) (Трофимо 2009), сорго зерновое (*Sorghum bicolor*) (Плешакова, 2010), гречи (*Fagopyru mesculentum*) (Басоев, 2010), горчица белая (*Sinapis alba*) и саф (*Carthamus*) (Постников, 2009), овес (*Avena saliva*) (Доржонова, 2013) вей наземный (*Calamagrostis epigeios*) (Маджугина, 2008), лопух большой (*Arctium lappa*), одуванчик лекарственный (*Taraxacum officinale*), полынь лая (*Artemisia alba*) (Васильева, 2011), клевер луговой (*Trifolium pretens*).

Полынь горькая (*Artemisia absinthium*), ежа сборная (*Didactylis glomerata*) (Кудряшова, 2003), береза повислая (*Betula pendula*) (Гордеева, 2010), акация белая (*Robinia pseudoacacia*) (Байсеитова, 2014), кедр (*Cedrus*), тальник (Кирик, 2004), мятлик поливой (*Poa pratensis*), райграс пастбищный (*Lolium perene*), полевица тонкая (*Agrostis capillaris*), овсяница луговая (*Festuca pratensis*) (Средин, 2011).

Все данные, отражающие накопление тяжелых металлов растениями, подтверждают целесообразность современных экологических фитотехнологий (Salt, 1998).

В технологическом плане приемы фитоэкстракции делят на два разных способа – индуцированную и непрерывную (Salt, 1995). В первом методе используются специальные хелатирующие агенты, которые образуют с металлами растворимые комплексы. Классическим примером хелаторов служат ЭГТА (для кадмия), ЭДТА (для свинца), цитрат (для урана). Тяжёлый металл, находящийся в составе такого комплекса, легко усваивается растениями и интенсивно транспортируется по сосудам ксилемы в побеги растений. Непрерывная технология фитоэкстракции отличается долгосрочностью. В основе этого способа лежит применение растений-супераккумуляторов (Квеситадзе и др., 2005).

Следует отметить, что индуцированная фитоэкстракция это более развитый технологический прием, популярный с коммерческой точки зрения (Huang, 1997). В свою очередь непрерывная фитоэкстракция довольно успешно применяется в случаях загрязнения почвы такими металлами, как ртуть, цинк, мышьяк, кадмий, никель, хром (Kumar, 1995).

Важным детоксикационным процессом, безусловно, является связывание металлов с органическими соединениями, существенно влияющими на их токсичность (Kumar, 1995).

К числу специфических факторов, безусловно определяющих экологический потенциал растений, должна быть отнесена способность растений извлекать из почвы и водоемов соединения неметаллов и разбавлять их в воздухе. Примером могут служить растения, накапливающие и не накапливающие селен. Они удаляют данный элемент из почвы

транспортом через надземные и подземные органы и превращением в летучие соединения (H_2Se) с последующим испарением листьями и разбавлением в воздухе.

Важнейшей особенностью метода фиторемедиации является его экономическая выгода по сравнению с механическими, химическими и другими ремедиационными технологиями. В целом фиторемедиация как метод очистки почв в виду своей малой изученности и невысокой степени внедрения в практику экологических технологий занимает не самое высокое место в рейтинге популярных технологий детоксикации загрязненных почв. Однако при дальнейшем изучении и разработке технологий фиторемедиации как рентабельной и экологически чистой технологии она непременно будет превалировать над физико-химическими методами.

4. Особенности загрязнения природной среды Иркутской области тяжелыми металлами и мышьяком

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

По оценкам специалистов значительная часть пахотных земель Иркутской области (свыше 200 тыс. га), примыкающих к этим городам, подвержена техногенному загрязнению. Производимая в этих условиях растениеводческая продукция часто не соответствует санитарно-гигиеническим нормам содержания вредных для здоровья человека и животных токсических веществ (Государственный доклад о состоянии и охране окружающей среды Иркутской области в 2015 году, 2015).

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

По степени опасности химические элементы подразделяются на три класса:

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

Санитарно-эпидемиологическая обстановка в районах Иркутской области очень сложная. Уровень показателей общей заболеваемости в целом растет и продолжает сохраняться в пределах 180-220 обращений на 1000 человек населения.

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

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

Анализ продолжительности жизни жителей показал, что из 83 субъектов России Иркутская область занимает с 74 по 79 позиции, в том числе средняя продолжительность жизни населения составляет 65,2 и 65,9 лет соответственно в 2010 и в 2011 годах – 76 позиция из 83; у мужчин – 58,8 и 59,5 лет (79 позиция); у женщин – 72,0 и 72,5 года (74 позиция) (Государственный доклад. ...,2015).

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

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

Загрязнение мышьяком достигает 7,8-11,7 ПДК, свинцом 1,4-3,0 ПДК (Государственный доклад..., 2015). Анализ здоровья населения г. Свирска свидетельствует о том, что из проживающих в городе 14720 жителей – 3280 человек (22%) инвалиды. Они страдают сердечно сосудистыми, онкологическими заболеваниями, почечной недостаточностью, болезнями печени, опорно-двигательного аппарата и другими заболеваниями. Продолжительность жизни мужчин составляет 53 года, женщин - 68,7 лет.

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

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

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

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

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

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

Подвижными формами мышьяка являются: AsO_2 , AsO_4 , H_2AsO_2 . Наиболее распространенные формы в условиях окружающей среды – это As^{5+} (H_2AsO_4) и As^{3+} (H_3AsO_3), доминирующие только при низких значениях pH и в восстановительных условиях среды.

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

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

Органами-мишенями при свинцовом отравлении являются

кровенворная и нервная системы и почки. На уровне кроветворной системы проявляется анемия; на уровне нервной системы – поражение головного мозга и периферических нервов. Мозговые поражения сопровождаются конвульсиями и бредом. Токсическая доза (ТД) свинца для человека 1 мг, летальная доза (ЛД) – 10 г (Илларионова, 2010).

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

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

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

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

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

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

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

Загрязнение кадмием приводит к задержке роста растений, повреждению корневой системы, хлорозу листьев и снижению урожая. Прекращение роста листовых овощных культур происходит при концентрации кадмия равной 0,9-1,5 мг/кг (Ступин, 2009). Также симптомы избыточного поступления в растения кадмия проявляются в постепенном изменении окраски кончиков листьев и черешков до красновато-бурой и

пурпурной. При этом листья скручиваются, становятся хлоротичными и опадают. По силе своего действия на растения кадмий превосходит многие другие ТМ. Гибель растений отмечается при концентрации этого элемента в почве в количестве 30 мг/кг (Байсеитова, 2014).

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

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

Острое кадмиевое отравление проявляется в виде рвоты, спазма кишечника, головной боли. Попав с пищей в организм, кадмий транспортируется кровью в другие органы, где он связывается глутатионом и гемоглобином эритроцитов. Хроническое отравление кадмием разрушает печень и почки, приводит к сильнейшему нарушению функции почек. Терапии для лечения кадмиевого отравления не существует. Обильный прием цинка, кальция, фосфатов, витамина D и белковая диета могут несколько ослабить отравление кадмием. В крови курильщиков содержится примерно в семь раз больше этого токсиканта, чем у некурящих (Мартин, 1993).

Соли кадмия в почве гидролизуются и их растворы имеют кислую реакцию. Кадмий по химическим свойствам близок к цинку и отличается от него еще большей подвижностью в кислых средах. В почвенном растворе кадмий присутствует в виде Cd_2 . Он может образовывать комплексные ионы ($CdCl$, $CdOH$, $CdHCO_3$, $CdCl_3$, $CdCl_4$, $Cd(OH)_3$) и органические хелаты. Подвижность кадмия в почве определяется уровнем реакции среды в почве и окислительно-восстановительным потенциалом. Основным методом снижения подвижности кадмия является повышение pH почвы путем известкования.

5. Методы детоксикации тяжелых металлов и получения экологически безопасной продукции

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

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

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

М.А. Овчаренко и др. (1997 г.) установили, что основным приемом снижения степени загрязнения и подвижности большинства ТМ является интенсивное известкование. При известковании загрязненных почв рекомендуется вносить дозы известковых удобрений, обеспечивающих доведение рН почвы до уровня 6,5-6,7. Обычные рекомендуемые дозы известковых удобрений при химической мелиорации почв, загрязненных ТМ, мало эффективны. Дозы известковых удобрений, как правило, рассчитывают, используя метод гидролитической кислотности (целесообразно 2,5Нг). В зависимости от рН_{КС1} дозы СаСО₃ могут колебаться от 5,5 т/га при рН 6,3-6,4, до 22 т/га при рН 4,5-4,6, причем дозу более 10 т/га следует вносить в два приема.

Подвижность ТМ существенно изменяется под действием минеральных удобрений. Фосфорные удобрения обладают значительной способностью их детоксикации. Это объясняется тем, что большинство металлофосфатов являются нерастворимыми соединениями. Кроме того, при внесении фосфорных удобрений в почвенном растворе появляется больше ионов кальция – антагониста свинца, что также препятствует поступлению свинца в растения кг/га Р₂О₅. суперфосфата 120-150 кг/га Р₂О₅ Конкретные дозы удобрений уточняются с учетом обеспеченности почвы питательными элементами, при этом стабилизируется органическое вещество и снижается его подвижность. Но с ростом загрязнения почвы начинается обратное влияние: изменяется состав гумуса, а затем и уменьшается его содержание (Водяницкий, 2012)

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

растительной продукции.

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

Для возвращения нарушенных земель в сельское хозяйство необходим предварительный анализ химического состава пород и их агрономическая оценка. Результаты анализов используются для того, чтобы избежать нанесения и вынесения фитотоксичных пород в верхние слои рекультивируемых почвогрунтов. Мощность корнеобитаемого слоя почвы должна достигать 8 см – для зерновых культур и 150 см – для плодовых.

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

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

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

Подбор сельскохозяйственных культур, устойчивых к загрязнению, является наиболее простым и доступным способом ведения земледелия на загрязненных ТМ почвах.

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

На этих почвах можно выращивать корнеклубнеплоды (за исключением свеклы) при условии применения необходимых агрохимических мероприятий, направленных на снижение подвижности ТМ (технические, семенники и др.), при интенсивном применении

агрохимических и агротехнических мероприятий, снижающих поступление ТМ в продукцию. При очень высоком уровне загрязнения почвы необходим специальный комплекс работ, так как обычные меры будут малоэффективны и будет происходить не только загрязнение продукции ТМ, но и снижение урожая, в отдельных случаях вплоть до его полной гибели.

Растения, рекомендуемые для целей фиторемедиации должны обладать следующими свойствами:

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

6. Требования к оформлению контрольной работы

6.1 Требования к структуре контрольной работы

Структура контрольной работы должна содержать:

1. Титульный лист (согласно прилагаемого образца).
2. Содержание (содержание включает: введение; наименования всех разделов, подразделов, список литературы).
3. Основная часть (состоит из нескольких разделов, в которых излагается ответ на каждый вопрос контрольной работы).
4. Список используемых литературных источников (содержит перечень источников, которые были использованы при подготовке контрольной работы).

6.2 Требования к оформлению контрольной работы

1. Контрольная работа должна быть набрана студентом самостоятельно с использованием текстового редактора *Word*.
2. При наборе контрольной работы на ПК рекомендуется соблюдать следующие параметры:
 - шрифт – Times New Roman;
 - размер шрифта – 14;
 - межстрочный интервал – полуторный;
 - размеры полей: левое 3 см, правое 1,5 см, нижнее, верхнее – 2 см;
 - параметры абзаца: выравнивание текста – по ширине страницы;
 - точка в конце заголовка не ставится.

3. Каждую структурную часть необходимо начинать с нового раздела со следующей страницы;
4. Нумерация страниц начинается с титульного листа, но на титульном листе номер страницы не указывается.
5. Пример оформления титульного листа контрольной работы:

**Министерство сельского хозяйства Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
Иркутский государственный аграрный университет имени А.А. Ежевского**

Агрономический факультет

Кафедра агроэкологии и химии

Контрольная работа

по БИОРЕМЕДИАЦИИ ПОЧВ

Направление подготовки

Курс _____

Шифр _____

Студент _____

Ф.И.О. (полностью)

Молодежный 20__ г.

7. Номера заданий согласно шифру

Вариант контрольной работы определяется по таблице 2. Студент выполняет номера контрольных вопросов, указанные в клетке, соответствующей его шифру (номеру зачетной книжки), причем по горизонтали берется последняя цифра, а по вертикали – предпоследняя. Для каждой работы указаны вопросы, помещенные после вариантов контрольных работ.

Вопросы контрольного задания следует переписывать внимательно. Каждый вопрос должен быть пронумерован и четко отделен от ответа, причем сначала ставится номер вопроса, а затем номер, взятый из таблицы. **Например, 1(15), 2(60), 3(42) и др.** Нельзя переписывать сразу все вопросы. После каждого вопроса должен быть четкий, достаточно полный ответ. В конце работы указывается список использованной литературы в алфавитном порядке. Номера страниц должны быть пронумерованы.

Работа должна быть написана последовательно и грамотно. После проверки работа может быть возвращена студенту для доработки с учетом замечаний и требований рецензента.

Таблица 2 – Определение индивидуального задания согласно номеру зачетной книжки (шифру)

		Последняя цифра номера зачетной книжки									
		<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
Предпоследняя цифра номера зачетной	<i>0</i>	1, 22, 35	2, 23, 36	3, 24, 37	4, 25, 38	5, 26, 39	6, 27, 40	7, 28, 41	8, 29, 42	9, 30, 43	10, 31, 44
	<i>1</i>	11, 32, 45	12, 33, 46	13, 34, 35	14, 22, 36	15, 23, 37	16, 24, 38	17, 25, 39	16, 24, 38	17, 25, 39	20, 28, 42
	<i>2</i>	21, 29, 43	6, 27, 40	14, 22, 36	9, 30, 43	2, 23, 36	20, 28, 42	9, 30, 43	13, 34, 35	16, 24, 38	6, 27, 40
	<i>3</i>	12, 33, 46	17, 25, 39	7, 28, 41	19, 27, 41	1, 22, 35	1, 22, 35	19, 27, 41	14, 22, 36	20, 28, 42	16, 24, 38
	<i>4</i>	9, 30, 43	4, 25, 38	17, 25, 39	2, 23, 36	12, 33, 46	11, 32, 45	2, 23, 36	7, 28, 41	1, 22, 35	20, 28, 42
	<i>5</i>	10, 31, 44	14, 22, 36	15, 23, 37	16, 24, 38	17, 25, 39	16, 24, 38	17, 25, 39	20, 28, 42	2, 23, 36	3, 24, 37
	<i>6</i>	8, 29, 42	9, 30, 43	5, 26, 39	6, 27, 40	7, 28, 41	2, 23, 36	3, 24, 37	4, 25, 38	1, 22, 35	11, 32, 45
	<i>7</i>	20, 28, 42	19, 27, 41	18, 26, 40	17, 25, 39	16, 24, 38	15, 23, 37	14, 22, 36	13, 34, 35	12, 33, 46	21, 29, 43
	<i>8</i>	1, 22, 35	2, 23, 36	3, 24, 37	4, 25, 38	5, 26, 39	6, 27, 40	7, 28, 41	8, 29, 42	9, 30, 43	10, 31, 44
	<i>9</i>	11, 32, 45	12, 33, 46	13, 34, 35	14, 22, 36	15, 23, 37	16, 24, 38	17, 25, 39	18, 26, 40	19, 27, 41	20, 28, 42

8. Теоретические задания (вопросы) контрольной работы

1. Проблемы восстановления агроэкосистем.
2. Основные факторы, влияющие на выбор способов ремедиации агроэкосистем.
3. Планирование действий по восстановлению агроэкосистем.
4. Биоремедиация. Виды биоремедиации.
5. Биоремедиации природная.
6. Биоремедиации инженерная *ex situ*: а) биореакторы, б) биофильтры, в) компостирование, г) рекультивация.
7. Биоремедиации инженерная *in situ*: а) биовентилирование, б) фиторемедиация, в) усиленное восстановление.
8. Основные факторы, влияющие на способы биоремедиации агроэкосистем.
9. Микробные популяции для процессов биоремедиации: аэробные, лигнинолитические грибы, метилотрофы.
10. Факторы ограничивающие процесс биоремедиации.
11. Биоаугментация. История биоаугментации.
12. Проблемы, связанные с биоаугментацией.
13. Носители и технология капсулирования для внесения инокулятов: использование материалов – носителей для биоаугментации; биоаугментация с капсулированными микроорганизмами, биоаугментация активирования почвы.
14. Использование смешанных культур для биоремедиации.
15. Фиторемедиация Фитоэкстракция или фитоаккумуляция.
16. Фитотрансформация или фитодеградация.
17. Фитостабилизация. Ризофльтрация.
18. Стратегии биоремедиации: *in situ* и *ex situ*.
19. Принципы биоремедиации.
20. Микробные популяции для процессов биоремедиации. Аэробные. Анаэробные.
21. Лигнинолитические грибы. Метилотрофы.
22. Использование ассоциативных с растением микроорганизмов для биоремедиации загрязнения.
23. Детоксикационный потенциал растений.
24. Биодеградация органических поллютантов в корневой зоне растений.
25. Основные этапы биоремедиационных работ.
26. Первичное обследование, характеристика загрязненной агроэкосистемы, планирование биоремедиационных работ.
27. Выбор метода и технологии ремедиации.
28. Разработка схемы и технологии проекта.
29. Подготовительные мероприятия.
30. Проведение биоремедиационных работ.

31. Депонирование осадков, отходов.
32. Рекультивационные работы.
33. Сдача объекта заказчику. Получение акта об эффективности проведенных работ.
34. Особенности проблемы загрязнения земель и водных экосистем.
35. Факторы, которые необходимо оптимизировать и поддерживать на протяжении всего процесса биоремедиации.
36. Питательные вещества. Экологические требования.
37. Факторы, способствующие эффективности биоремедиации.
38. Факторы, ограничивающие процесс биоремедиации.
39. Мониторинг процесса биоремедиации в загрязненной среде. Примеры.
40. Закрепления процесса биоремедиации.
41. Отработка методов биоремедиации. Преимущества биоремедиации. Недостатки биоремедиации.
42. Биоремедиация и фиторемедиация земель, загрязненных пестицидами
43. Фиторемедиация антропогенно нарушенных водоемов.
44. Влияние тяжелых металлов на организм человека (мышьяк).
45. Влияние тяжелых металлов на организм человека (свинец).
46. Влияние тяжелых металлов на организм человека (кадмий).

Рекомендуемая литература

Основная:

1. Ступин, Д. Ю. Загрязнение почв и новейшие технологии их восстановления [Текст] : учеб. пособие для вузов : допущено Учеб.-метод. об-нием / Д. Ю. Ступин. - СПб. : Лань, 2009. - 428 с.

Дополнительная:

1. Еськов, Анатолий Иванович. Фиторемедиация почв, загрязненных бесподстильным навозом [Текст] / А. И. Еськов, Ю. А. Духанин, С. И. Тарасов. - М. : Росинформагротех, 2004. - 99 с.

2. Методы детоксикации техногенно загрязнённых почв Предбайкалья [Текст] : моногр. / Т. Н. Сосницкая [и др.] ; Иркут. гос. аграр. ун-т им. А. А. Ежевского, Центр агрохим. службы "Иркутский". - Москва : Перо, 2018. - 153 с.

3. Проблемы деградации и восстановления продуктивности земель сельскохозяйственного назначения в России [Текст] / Г. А. Романенко [и др.] ; под ред. А. В. Гордеева, Г. А. Романенко. - М. : Росинформагротех, 2008. - 67 с.

4. Фиторемедиация техногенно загрязнённых почв Предбайкалья [Текст] : моногр. / М. В. Бутырин [и др.] ; Иркут. гос. аграр. ун-т им. А. А. Ежевского, Центр агрохим. службы "Иркутский", Иркут. НИИСХ. - Москва : Перо, 2018. - 124 с.