



МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГУМАНИТАРНО- ПЕДАГОГИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО «ЮУрГГПУ»)

ФАКУЛЬТЕТ ЕСТЕСТВЕННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
КАФЕДРА ХИМИИ, ЭКОЛОГИИ И МЕТОДИКИ ОБУЧЕНИЯ ХИМИИ

Фиторемедиация почв с различной степенью экологической нагрузки

Выпускная квалификационная работа по направлению
44.04.01 Педагогическое образование

Направленность программы магистратуры
«Химико-биологическое образование»
Форма обучения заочная

Проверка на объем заимствований:
84 % авторского текста

Работа рекомендована к защите
рекомендована/не рекомендована

«31» 01 2020 г.

зав. кафедрой Химии, экологии и методики
обучения химии

Ср (название кафедры)
Сутягин А.А.

Выполнила:

Студентка группы ЗФ-301-213-2-1
Наволокина Алёна Сергеевна

Научный руководитель:
канд. пед. наук., доцент

Агапов Агапов Алексей Иванович

Челябинск
2020

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1. ФИТОРЕМЕДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ ПОЧВЫ ОТ ТОКСИКАНТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ	8
1.1 Фиторемедиация как современный метод очистки почв, загрязненных тяжелыми металлами.....	8
1.2 Источники поступления тяжелых металлов в окружающую среду и их токсическое действие на экосистемы	11
1.3 Возможности образовательных технологий в проведении исследований по фиторемедиации в школе	22
Выводы по первой главе.....	28
ГЛАВА 2. ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ ШКОЛЬНИКОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФАКУЛЬТАТИВА ПО ФИТОРЕМЕДИАЦИИ.....	30
2.1 Организация проведения факультатива на базе региональной инновационной площадки ПАО «Комбинат «Магнезит».....	30
2.2 Роль педагога при проведении факультатива по фиторемедиации в старших классах	33
2.3 Разработка факультатива по фиторемедиации для старших классов.....	35
Выводы по второй главе	37
ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ФАКУЛЬТАТИВНЫХ ЗАНЯТИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ШКОЛЬНИКОВ	39
3.1 Объекты и методика исследований.....	39

3.2 Основные методики исследования почвы при проведении фиторемедиационных работ.....	40
3.3 Определение фиторемедиационного потенциала растений в ходе исследовательской деятельности школьников.....	55
Выводы по третьей главе.....	64
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	67
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	71
ПРИЛОЖЕНИЯ.....	80

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность. Вопрос об ухудшении состояния окружающей среды токсичными соединениями, включая тяжелые металлы, на сегодняшний день все более острый [38].

Промышленные выбросы попадают в воздух, после чего, выпадая на поверхность земли, аккумулируются в почвах [17; 18; 33]. В итоге загрязнения понижается качество почв и значимость сельскохозяйственных насаждений. Особенно важным моментом данного вопроса считается то, что попавшие в почву тяжелые металлы и образующиеся из них соединения усваиваются растениями и аккумулируются в них в концентрациях, которые небезопасны для жизни человека и животных [26]. Вовлекаясь в биологический круговорот, тяжелые металлы передаются по пищевым цепям и вызывают целый ряд негативных последствий на различных ступенях, в том числе и в организме человека как конечном звене любой экологической цепи. Помимо этого, тем более в городах, вероятно попадание тяжелых металлов в человеческий организм и при вдыхании воздуха, в состав которого входят аэрозоли почвы, которая является в этой ситуации как повторный источник его загрязнения [9].

Ранее риск попадания тяжелых металлов из загрязненных почв в сельскохозяйственную продукцию снижали в основном путем использования таких агротехнических приемов, как известкование и внесение в почву фосфорных удобрений, сокращающих подвижность металлов и их доступность для поглощения растениями. Проблема загрязнения при этом не решалась – металлы накапливались в почве, и она становилась источником вторичного загрязнения прилегающих территорий и подземных вод. В большинстве случаев для очистки загрязненных тяжелых металлов почв применяли методы *ex situ*, например: физическое удаление загрязненной почвы; деконтаминация почвы

посредством обработки химическими реагентами и возвращение ее на первоначальное место [1]. Физико-химические методы являются дорогостоящими и сопряжены с образованием вторичных отходов в виде постэкстракционных и постсорбционных осадков, и, в случае сжигания, высокотоксичных продуктов неполного сгорания, захоронение и обезвреживание которых представляет дополнительную проблему. В свою очередь, биологические методы (биоремедиация) объектов, содержащих тяжелые металлы, призваны наиболее дешевыми и достаточно эффективными. В последние годы развивается новый подход к биоремедиации, использующий объединенный метаболический потенциал микроорганизмов и растений – фиторемедиация [15].

Метод фиторемедиации не требует больших затрат, прост в практическом осуществлении и применим в любых экологически неблагоприятных зонах. Методы фиторемедиации разрабатывают и внедряют в Болгарии, США, Великобритании, Испании, Канаде, Китае, Мексике, Новой Зеландии и других странах [50; 62]. Однако внедрение этой природоохранной технологии в России в значительной степени отстает из-за необходимости поиска растений-аккумуляторов тяжелых металлов, характерных для наших экологических условий, или использования интродуцентов.

Цель и задачи исследования.

Целью диссертационной работы является изучение эффективности фиторемедиации почвы различными видами растений при проведении факультатива на базе инновационной площадки ПАО «Комбинат «Магнезит».

В соответствии с поставленной целью были сформулированы следующие задачи.

1. Рассмотреть фиторемедиационные технологии в решении проблемы очистки почв от загрязнений.

2. Изучить возможности дисциплин естественно-технологического цикла (в исследовательской деятельности школьников) для проведения факультатива по фиторемедиации.

3. Изучить биологические особенности и интенсивность поглощения кадмия Cd, цинка Zn и меди Cu различными видами растений: *Hordeum vulgare* L., *Avena sativa* L., *Sinapis alba* L., *Brassica oleracea* L.

4. Определить коэффициенты биологического поглощения и передвижения тяжелых металлов фиторемедиационными культурами.

5. Разработать рабочую программу факультативного курса «Фиторемедиация почв Саткинского района» для проведения исследовательской деятельности школьников на базе инновационной площадки ПАО «Комбинат «Магнезит».

Предмет исследования: фиторемедиация как метод очистки почв от загрязнения тяжелыми металлами.

Объект исследования: растения *Hordeum vulgare* L., *Avena sativa* L., *Sinapis alba* L., *Brassica oleracea* L., используемые при проведении факультатива по фиторемедиации.

Научная новизна исследований. Впервые в Саткинском районе изучены биологические особенности и интенсивность поглощения кадмия Cd, цинка Zn и меди Cu различными видами растений: *Hordeum vulgare* L., *Avena sativa* L., *Sinapis alba* L., *Brassica oleracea* L.. Проведена исследовательская работа в ходе реализации факультатива по фиторемедиации с целью формирования экологического образования школьников.

Практическая значимость. Полученные в работе результаты существенно расширяют и дополняют современные представления о накоплении тяжелых металлов в исследуемых растениях (*Hordeum vulgare* L., *Avena sativa* L., *Sinapis alba* L., *Brassica oleracea* L.) в Саткинском районе. Данные по аккумуляции некоторых тяжелых металлов могут быть использованы в биоиндикации экологического состояния почв и растений,

а также могут быть учтены при составлении карт геохимического загрязнения почв и растительного покрова г. Сатка. Также разработанная программа факультативного курса может быть использована педагогами при преподавании дисциплин естественно-технологического цикла.

Апробация работы и публикации: Основные результаты проделанной работы представлены на международной и всероссийской конференциях: VI международная научно-практическая конференция «Актуальные проблемы биологической и химической экологии» (2019 г); Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Тьюторское сопровождение в системе общего, дополнительного и профессионального образования» (2019 г). По материалам диссертации опубликовано две статьи в сборниках РИНЦ.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, заключения, списка использованной литературы, включающего 63 источника, а также приложения. Диссертация изложена на 86 страницах машинописного текста, включает 6 рисунков, 19 таблиц.

ГЛАВА 1. ФИТОРЕМЕДИАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В РЕШЕНИИ ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ ПОЧВЫ ОТ ТОКСИКАНТОВ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

1.1 Фиторемедиация как современный метод очистки почв, загрязненных тяжелыми металлами

Для восстановления нарушенных экосистем разрабатываются различные методы рекультивации почв (снятие загрязненного слоя и подсыпка чистой почвы, вымывание загрязнителей специальными растворами и так далее). В последнее время получили развитие относительно простые и экономически эффективные биотехнологии, в частности метод фиторемедиации [36].

Фиторемедиация (от греч. «фитон» – растение и лат. «ремедиум» – восстанавливать) – это приемы очистки, основанные на использовании зеленых растений. Этот метод очистки окружающей среды стал эффективным и экономически выгодным после того, как обнаружили растения-гипераккумуляторы тяжелых металлов, способные накапливать в своих листьях до 5 % никеля, цинка или меди в пересчете на сухой вес, т. е. в десятки раз больше, чем обычные растения [3; 23; 39; 43; 48; 53; 57].

Растения, подходящие для целей фиторемедиации, должны обладать следующими свойствами:

- способностью аккумулировать металл(ы) преимущественно в надземных органах;
- устойчивостью к накапливаемому металлу;
- быстрыми темпами роста и большой биомассой;
- высокой способностью к отрастанию после скашивания.

При этом гипераккумуляция и металлоустойчивость являются наиболее важными свойствами растений, используемых для фиторемедиации.

В настоящее время существуют две стратегии использования растений для «извлечения» тяжелых металлов (далее – ТМ) из почв. Первая из них предполагает использование растений-сверхнакопителей. Эти растения специфично поглощают один или два металла, накопление у них небольшой биомассы коррелирует с очень высокими концентрациями металла в побегах. Вторая стратегия основана на использовании высокопродуктивных растений, которые не являются металлоспецифичными, формируют большую надземную биомассу, но количество ТМ в ней сравнительно невысокое.

Необходимые свойства растений-аккумуляторов металлов следующие:

- отсутствие географических предпочтений и быстрый рост;
- высокая биопродуктивность;
- способность образовывать продукцию комплексного применения;
- сильная корневая система;
- способность к гипераккумуляции ТМ;
- высокая устойчивость к ТМ;
- быстрый транспорт металлов в надземные органы;
- способность к аккумулярованию нескольких металлов;
- устойчивость к болезням и вредителям.

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

Фиторемедиация включает в себя следующие этапы:

- 1) высадку растений тех видов, которые способны аккумуляровать соответствующие металлы;
- 2) обеспечение возможности роста культур;

3) сбор зеленой массы с последующим сжиганием или компостированием для переработки металлов.

Эта процедура может по мере необходимости повторяться несколько лет, до тех пор, пока уровень загрязнения в почве не снизится до допустимых пределов [56].

Технологии фиторемедиации. Существуют различные подходы для реализации метода фиторемедиации. Под *фитодеградацией* понимают разложение высокомолекулярных, по большей части органических, соединений в почве до веществ, не представляющих опасности. Термином *фитостабилизация*, или *фитоиммобилизация* характеризуют применение растений для снижения биодоступности контаминантов в почве. *Фитоиспарение* включает использование растений для выноса контаминантов из почвы, трансформации их в летучую форму и транспирации в атмосферу. *Ризофильтрацию* применяют для очистки загрязненных вод посредством поглощения загрязняющих веществ корнями растений. Для очистки загрязненных ТМ почв наиболее подходящим способом является *фитоэкстракция*. Для проведения фитоэкстракции применяют растения, способные к выраженной аккумуляции ТМ в наземной биомассе, которая впоследствии может быть удалена с поля. По мнению многих исследователей, фитоэкстракция могла бы привести к революции в санации почв, так как она обладает рядом конкурентных преимуществ. Данная технология значительно дешевле по сравнению с традиционными методами очистки, характеризуется эффективностью и относительной простотой исполнения (с помощью традиционных агротехнических приемов), не наносит вреда окружающей среде [1; 45].

1.2 Источники поступления тяжелых металлов в окружающую среду и их токсическое действие на экосистемы

Городская среда характеризуется загрязнением окружающей среды. Источники и виды загрязнителей городской среды разнообразны. Особое место занимает загрязнение ТМ, в большинстве случаев имеющее антропогенную природу. К ТМ относятся более 40 химических элементов периодической системы Д.И. Менделеева, масса атомов которых составляет свыше 50 атомных единиц. ТМ – химические элементы, отличающиеся высокой токсичностью для всех живых организмов. По данным Всемирной организации здравоохранения среди поллютантов, оказывающих негативное влияние на человека, ТМ занимают второе место, уступая лишь пестицидам [29]. ТМ имеют длительный период полураспада с сохранением своих токсических свойств, а также обладают кумулятивным действием, накапливаясь в живых организмах. ТМ являются загрязнителями окружающей среды, которые способны накапливаться и оказывать негативное воздействие на различные компоненты экосистем. Приоритетными загрязнителями среди ТМ считаются Hg, Pb, Cd, As, главным образом потому, что техногенное их накопление в окружающей среде идет высокими темпами [13].

Источники поступления ТМ в окружающую среду могут быть природные и антропогенные. К естественным источникам ТМ относятся горные породы (из продуктов выветривания которых сформировался почвенный покров), вулканы, космическая пыль, эрозия почв, испарение с поверхности морей и океанов, выделение их растительностью. Антропогенные источники поступления связаны, в основном, с работой предприятий угледобывающей, металлургической, химической промышленности и энергетического комплекса. Важными источниками загрязнения окружающей среды ТМ являются различные транспортные средства, а также агротехнические мероприятия, в частности, внесение

удобрений и пестицидов, содержащих в своем составе эти элементы. В результате поступления ТМ в окружающую среду происходит загрязнение главным образом почвы, т.к. в почву попадают ТМ, в том числе из атмосферы и водной среды. В зависимости от источника загрязнения (естественный или антропогенный) существуют различия в профильном распределении ТМ в почве. При естественном высоком уровне этих элементов на фоне небольшого их накопления в гумусовом горизонте прослеживается увеличение содержания металлов вниз по почвенному профилю. При техногенном загрязнении концентрация ТМ выше в поверхностном слое [56].

Поступление ТМ в окружающую среду связано с активной деятельностью человека. Их основные источники — промышленность, автотранспорт, котельные, мусоросжигающие установки и сельскохозяйственное производство [22; 42]. К отраслям промышленности, загрязняющим окружающую среду ТМ, относятся черная и цветная металлургия, добыча твердого и жидкого топлива, горно-обогатительные комплексы, стекольное, керамическое, электротехническое производство и др. Свинец широко используется в производстве аккумуляторов, оболочек электрических кабелей, медицинской техники, хрусталя, оптического стекла, красок, многочисленных сплавов и т.д., не говоря уже о производстве, связанном с его получением. В сельскохозяйственном производстве загрязнение почвы ТМ связано с использованием удобрений и пестицидов. Транспорт является источником более половины всех выбросов в атмосферу. Котельные, работающие на твердом и жидком топливе, загрязняют окружающую среду не только ТМ, но и различными оксидами. Сжигание мусора сопровождается поступлением в биосферу целого ряда тяжелых металлов: кадмия, ртути, свинца, хрома и др. Для крупных городов с многопрофильной промышленностью характерно присутствие в окружающей среде не отдельного загрязнителя, а ассоциации ТМ, способных оказывать комбинированное действие на

организм, при котором может наблюдаться как суммирование эффектов, так и их потенцирование [41].

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

Объем выбросов ТМ в результате хозяйственной деятельности человека стал соизмерим с масштабами природной эмиссии данных элементов. Только в результате работы металлургических предприятий на поверхность Земли ежегодно поступает (тыс. т): меди – не менее 154,7, цинка – 121,5, свинца – 89, никеля – 12, кобальта – около 1, молибдена – 1,5, ртути – 0,031; вследствие сжигания угля и нефти (тыс. т.): свинца – 3-4, ртути – 1,6, меди – 2,1, цинка – 7, никеля – 3-4 [44]. Выхлопные газы автотранспорта приносят на поверхность нашей планеты до 260 тыс. т свинца ежегодно, что почти в 3 раза больше, чем при работе всех металлургических предприятий.

Суюндуков Я. Т. с соавторами [54] изучали накопление Pb, Zn, Cd в почвенно-растительном покрове Башкирского Зауралья в условиях техногенного воздействия. Основными элементами медно-колчеданных руд являются Cu, Zn, S, Cd, Hg, Pb и др. Показано, что существует прямая зависимость распределения указанных элементов по мере приближения к горно-обогатительным комбинатам. По валовым формам загрязненная зона прослеживается до 5 км от источника загрязнения, а по подвижным формам – до 10 км. Именно подвижная форма ТМ создает тревожную ситуацию. Черноземы обыкновенные имеют категорию очень сильного загрязнения – до 93,2 % валового содержания, а черноземы выщелоченные и южные – умеренного. Южные черноземы сильно загрязняются

активными формами кадмия – до 71,4 % валового содержания. Кроме того, авторами подтверждено наличие в Башкирском Зауралье природных локальных аномалий со значительной концентрацией в почве меди, что усугубляет экологическую ситуацию в регионе, так как на естественно повышенный геохимический фон накладывается промышленное загрязнение.

Загрязнение ТМ происходит и при разработке нефтегазоносных месторождений (на примере почв тайги Западно-Сибирской низменности), характер и направленность почвообразовательного процесса способствуют перераспределению ТМ в профиле почв в соответствии с типом почвообразования. Распределение тяжелых металлов, таких, как Pb, Zn, Hg, Cd, As, в подзолистых почвах подчиняется элювиально-иллювиальной дифференциации, но больше всего они накапливаются в лесной подстилке и органогенных горизонтах. Со временем дифференциация по отношению к таким ТМ, как Pb, Hg, Cd, в метровой толще почвенного профиля сглаживается [24].

По данным Подколзина О. А. [49], в Ставропольском крае основной источник загрязнения почвы ТМ – атмосферные осадки.

К факторам, загрязняющим окружающую среду, часто относят и химизацию земледелия, в частности применение минеральных, известковых и органических удобрений [7]. Удобрения как источник питания и увеличения урожайности изучают давно, а как фактор, влияющий на содержание ТМ в почве и растениях, — сравнительно недавно. Отчасти поэтому имеющиеся данные весьма противоречивы.

Для всех крупных животноводческих комплексов характерно накопление огромных количеств жидкого навоза и навозных стоков, а это неизбежно ведет к загрязнению окружающей среды: высокому насыщению почвы, поверхностных и грунтовых вод различными веществами, ухудшению санитарного состояния территории ферм и населенных пунктов, загазованности воздуха. Жидкий навоз из-за текучести,

неспособности задержаться на поверхности почвы при уклоне местности загрязняет окружающую среду значительно больше, чем подстилочный. При этом ограниченная земельная площадь животноводческих комплексов и невыгодность перевозок навоза на дальние расстояния часто вызывают необходимость применения на прилегающих к хозяйству сельскохозяйственных угодьях сверхвысоких доз бесподстилочного навоза. Длительное применение последних ведет к загрязнению почвенного профиля и подземных вод нитратами, соединениями фосфора и другими веществами в опасных концентрациях. Соединения азота и фосфора, попадающие в природные воды, способствуют развитию водорослей и планктона в них. Исследованиями установлено, что бесподстилочный навоз отрицательно влияет на окружающую среду следующими путями: через миграцию веществ по почвенному профилю до грунтовых вод; выделением азота и других веществ в газообразной форме в атмосферу; через ухудшение агрохимических свойств и баланса питательных веществ почвы вследствие длительного применения высоких доз на постоянных участках; накоплением в растительной продукции концентраций нитратов и других элементов, негативно влияющих на здоровье человека и животных [8].

По свидетельству Белоуса Н. М. [4], промышленный комплекс по производству мяса крупного рогатого скота на 100 тыс. голов по возможности загрязнения природы равен городу с 1 млн жителей. Навоз свиней обладает еще большей загрязняющей способностью, вызывая к тому же изменения в почвенно-поглощающем комплексе и увеличивая долю натрия до 4,3 % от суммы поглощенных оснований.

Некоторое количество ТМ поступает в почву с пестицидами, но их расход при проведении защитных мероприятий небольшой, поэтому они не представляют серьезной опасности как источник загрязнения почв [14]. Хотя, по данным Колесникова В. А. [30], около 97-99 % инсектицидов и фунгицидов и 60-95 % гербицидов даже при строгом соблюдении всех

регламентов их применения не достигают объектов подавления и попадают в почву, воздух и водоемы. Места для складирования, смешивания и подготовки пестицидов тоже могут быть причинами загрязнения тяжелыми металлами почв, водоисточников и т.д.

Накопление и распределение тяжелых металлов в растениях.

Увеличение содержания ТМ в окружающей среде приводит к повышению их концентрации в растениях. Имеются два источника поступления токсичных ионов в наземные растения – это почва и воздух.

Механизмы поступления металлов в растения из почвы корневым путем включают пассивный (неметаболический) перенос ионов в клетку в соответствии с градиентом их концентрации и активный (метаболический) процесс поглощения клеткой против градиента концентрации [52]. В поглощении и транспорте ТМ в растения можно выделить следующие этапы:

- 1) накопление ионов в свободном пространстве корня;
- 2) преодоление ионами мембранного барьера и их проникновение в симпласт;
- 3) радиальное передвижение ионов по тканям корня и сосудистым проводящим пучкам.

Первый этап поглощения ТМ корневой системой осуществляется посредством физико-химической адсорбции, а также за счет неметаболического связывания ионов металлов активными участками клеточной стенки. Последующие этапы поглощения металлов связаны с затратой энергии с участием ионных каналов и белков-переносчиков. Помимо симпластного пути ионы ТМ могут передвигаться и по апопласту до поясков Каспари (рисунок 1).

На поступление ТМ из почвы в растения оказывает влияние большое число разнообразных факторов. К наиболее важным из них относятся:

- механический состав почвы;

- химический состав почвы (органическое вещество, содержание карбонатов, фосфатов и других солей);
- рН почвенного раствора;
- взаимодействие металлов;
- температура почвы и воздуха;
- валентность элемента, его физико-химические свойства;
- биологические особенности вида;
- возраст растений;
- сезон года и т. д.

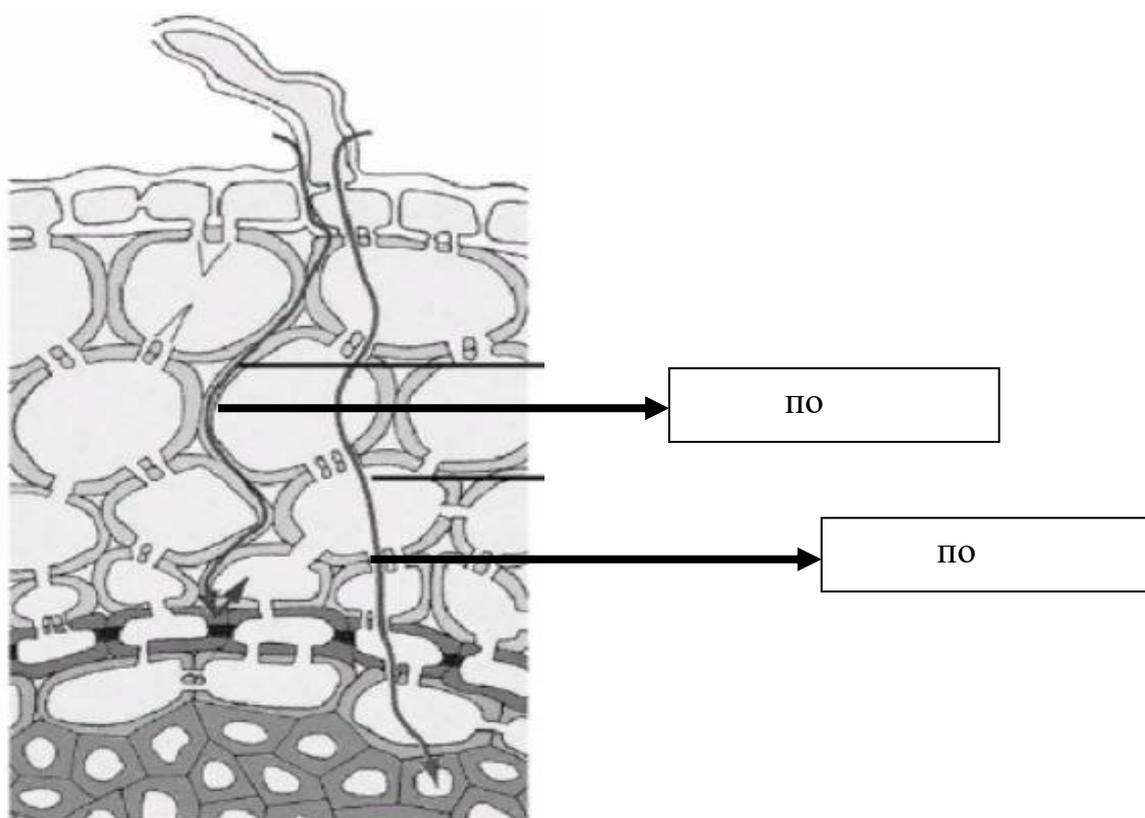
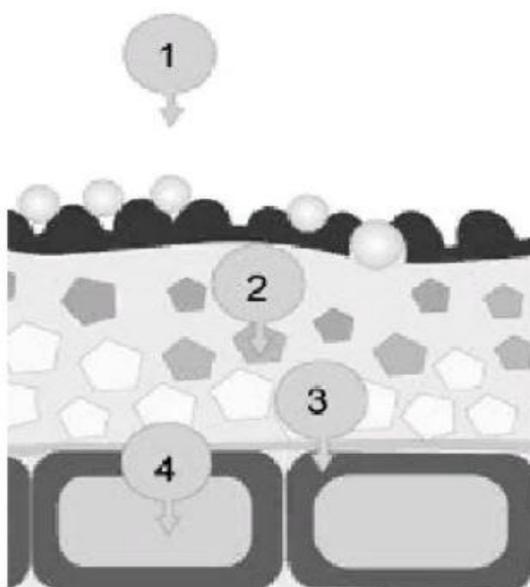


Рисунок 1 – Поступление ТМ в растения корневым путем

Из воздуха ТМ в составе аэрозолей и пыли попадают на лист, удерживаются на нем в виде поверхностных отложений, часть их может быть вымыта дождевой водой, а часть поступает в растение. Механизм поглощения ионов ТМ листьями состоит из двух фаз: 1) неметаболического проникновения через кутикулу (которое рассматривается как главный путь поступления) и 2) метаболического

переноса ионов через плазматические мембраны и протопласт клеток, т. е. их накопление против градиента концентрации (рисунок 2) [37]. Ионы металлов, поступившие в лист через кутикулу и устьица, транспортируются в корни и/или выше расположенные органы. Доля внекорневого поступления ТМ в растения зависит от концентрации металла в воздухе и осадках, его физико-химических свойств, а также анатомо-морфологических особенностей листьев растений. В частности, чем сильнее опушенность или шероховатость листовой поверхности, тем интенсивнее поступают в них металлы из воздуха [55].



1 – устьица; 2 – кутикула; 3 – апопласт; 4 – симпласт

Рисунок 2 – Поступление ТМ через лист

В целом, вопрос о накоплении и трансформации ТМ в системе почва-растение мало изучен.

Копылова Л. В. [32] исследовала накопление ТМ в листьях древесных растений. По результатам работы можно сделать вывод, что листья Тополя бальзамического в больших количествах концентрируют железо, стронций, цинк, и марганец. Листья Крассулы древовидной преимущественно аккумулируют железо, стронций и марганец, среди исследуемых видов медь в листьях Крассулы древовидной накапливается в больших количествах. В листьях Яблони ягодной и Вяза приземистого

отмечается повышенное содержание железа и стронция. Титан, рубидий, медь, хром и никель аккумулируются изучаемыми древесными видами примерно в равных количествах. Результаты исследований особенностей накопления ТМ в листьях древесных растений, используемых в озеленении урбанизированных территорий Забайкальского края, показали, что металлы накапливаются в неодинаковых количествах. Разные виды древесных растений имеют свою специфику, определяющую максимальный и минимальный уровень содержания того или иного металла в листьях.

Исследования, проведенные Конарбаевой Г. А. и Якименко В. Н., [31] показали, что постоянное ежегодное внесение минеральных удобрений с целью оптимизации и сбалансированности минерального питания растений, позволяет получать не только высокие урожаи, но и свести к минимуму негативное действие ТМ, как находящихся в почве, так и входящих в состав удобрений. При этом аккумуляция меди, кобальта и цинка в биомассе значительно варьировала в зависимости от органа растения и устойчивости к его избытку, а также от содержания изученных тяжелых металлов в почве. Несбалансированное использование удобрений (внесение фоновых азотных и фосфорных удобрений при дефиците калия) сопровождалось более высоким содержанием изучаемых тяжелых металлов в клубнях картофеля по сравнению с вариантом NPK_2 (азотные и фосфорные удобрения и двойная доза хлорида калия). Оптимизация минерального питания картофеля (NPK_2), обеспечивая полноценный продукционный процесс, заметно снижало содержание тяжелых металлов в клубнях.

Также работа Зубкова Н. В. [27] свидетельствует том, что отрицательного взаимодействия между фосфорными удобрениями и загрязнением почвы тяжелыми металлами не установлено.

Андреева И. В. [1] для своего исследования отобрала следующие сельскохозяйственные культуры, дикорастущие и декоративные растения:

амарант, львиный зев, просо волосовидное, марь белая, донник желтый, горчица белая, редька масличная. Как оказалось ни одно из исследуемых растений гипераккумулятором в отношении кадмия, никеля и свинца, установленные закономерности в их накоплении и распределении их по органам растений, а также значения расчетных коэффициентов свидетельствуют о том, что для деконтаминации почв, загрязненных кадмием и никелем, методом фитоэкстракции наибольшим потенциалом из изученных растений обладают амарант и львиный зев.

Необходимо учитывать и такой важный момент, как наличие в растениях неспецифических и специфических защитных механизмов, которые способны ограничивать поток избыточных ТМ в органы запасаания ассимилятов [28].

Медь является существенным структурным компонентом многих ферментов и других белков, участвующих в переносе электронов [61]. Дефицит меди у растений вызывает замедление их роста, различные искривления в форме побегов. Основная функция кобальта связана с участием в фиксации атмосферного азота в клубеньках бобовых и небобовых растений [5]. Недостаток кобальта в растениях обнаруживается крайне редко из-за его необходимости в малых количествах. В отличие от меди и кобальта цинк не относится к металлам с переменной валентностью, что затрудняет его участие в переносе электронов. Тем не менее, его роль в жизни растений весьма существенна. Многочисленными исследованиями установлено, что цинк входит в состав различных ферментов, таких как щелочная фосфатаза, карбоангидраза и других, а также участвует в белковом синтезе [63]. Дефицит цинка у растений ведет к нарушению углеводного, фосфорного и белкового обмена, снижению устойчивости растений к негативным факторам внешней среды [25].

Исследования Ветровой О. А. [10] показали, что при одновременном поступлении свинца и никеля из почвы и из воздуха культура земляники в целом лучше защищена от накопления никеля, а риск накопления свинца в

плодах выше. Для четырех изучаемых сортов земляники (Мамочка, Былинная, Рубиновый кулон и Богема) наименьшее содержание свинца было в корневищах и плодах. Самое низкое поступление никеля отмечено у сорта Рубиновый кулон. У сортов Рубиновый кулон, Былинная и Богема не выявлено существенных внутренних барьеров, препятствующих транслокации никеля в плоды. Плоды этих сортов содержали никель достоверно больше, чем вегетативные органы. Заметная фиксация никеля в корнях отмечена только у сорта Мамочка, в результате содержание Ni в плодах этого сорта было наименьшим. Для всех изученных сортов земляники характерна интенсивная транслокация цинка в плоды. Они содержали цинк в 4...20 раз больше, чем листья, корневища и корни. Характер распределения меди по органам земляники сходен с распределением свинца: высокое содержание элемента отмечено в корнях и черешках листьев, минимальное – в плодах.

Как сообщает Морозова М. А. [43], что, например, свинец даже при высоком содержании в почве плохо экстрагируется растениями из за того, что он находится в виде малорастворимых соединений. Поэтому концентрация свинца в растениях обычно не превышает 50 мг/кг, и даже индийская горчица, генетически предрасположенная к поглощению тяжелых металлов, накапливает в себе свинец в концентрации всего 200 мг/кг, даже если растет на почве сильно загрязненной этим элементом. Но есть такие вещества, которые стимулируют поступление тяжелых металлов в растения. Они образуют с металлами в почвенном растворе устойчивые, но растворимые комплексные соединения. Внесение такого вещества в почву, содержащую свинец в концентрации 1200 мг/кг, привело к тому, что концентрация тяжелого металла в побегах индийской горчицы возрастала до 1600 мг/кг.

1.3 Возможности образовательных технологий в проведении исследований по фиторемедиации в школе

Загрязнение окружающей среды – неизбежная реальность настоящего. В настоящее время не вызывает сомнения тот факт, что чем на более высокой стадии развития находится общество, тем более сложным является его экологическое состояние. Во многих развитых странах все чаще прибегают к биологической очистке антропогенно нарушенной окружающей среды при помощи растений. Можно привести много примеров использования растений для очистки, а также защиты окружающей среды. Это создание лесополос вдоль дорог, водоемов, сельскохозяйственных земель, озеленения городских территорий, что обеспечивает эффективную защиту от шума и пыли, а также регулирует уровень стока воды. В городской среде растения улучшают микроклимат, повышают качество воздуха, положительно влияют на здоровье людей. Еще одним из примеров применения флоры как средства улучшения состояния окружающей среды является фиторемедиация – использование растения и микроорганизмов, которые связаны с их корневыми системами, для очистки загрязненных и деградированных земель, воды и атмосферы [60]. Особо отметим, что фиторемедиация является более эффективной и менее затратной технологией в сравнении с традиционными методами очистки окружающей среды от загрязнителей [59].

Позитивное решение проблемы человек и природа во многом зависит от преподавателя, формирующего у школьников способность противостоять экологическому кризису, способствующего переходу к отношениям экопартнерства между природой и социумом.

Формирование у школьников стремления активно участвовать в природоохранной деятельности – актуальная проблема современного воспитания [51]. Формирование экологической культуры может эффективно осуществляться в процессе организации исследовательской

деятельности на предметах естественно-технологического цикла в школе. Поэтому рассмотрим современные методы фиторемедиации и возможности их применения на занятиях в школе.

Современные методы фиторемедиации основываются на различных подходах – это фитоэкстракция, ризодеградация, фитоволатилизация и так далее. Прежде чем использовать определенный метод проводят тщательный анализ места, которое подлежит восстановлению, устанавливают тип токсичного соединения, его концентрацию, тип грунта, глубину проникновения в грунт, наличие грунтовых вод, количество осадков в период вегетации и так далее. Подробнее остановимся на основных методах фиторемедиации [46].

Фитостабилизация – это использование растений для предотвращения миграции загрязняющих веществ путем контроля гидравлического градиента или укрепления структуры почвы. В этом случае растения выступают инструментом для рекультивации земель и предотвращения эрозии, контроля pH и газов в грунтах. Также при фитостабилизации происходит связывание некоторых органических соединений через корни растений.

Ризодеградация – деструкция загрязняющих веществ в корневой зоне растений. При ризодеградации происходят следующие процессы: поставка органического углерода и питательных веществ для содействия роста почвенных бактерий; стимуляция кометаболизма грибами и микроорганизмами, которые находятся в прикорневой зоне.

Фитодеградация – это биохимический процесс, который включает в себя усвоение и метаболизм загрязняющих веществ растениями. Растения поглощают, сохраняют и разлагают или трансформируют ксенобиотики в безвредные вещества. Эти вещества либо хранятся в тканях растений, либо поступают в почву в виде побочных продуктов, которые разлагаются микроорганизмами на менее вредные соединения.

Фитоволатилизация – это процесс, при котором летучие металлы и органические соединения поглощаются растением и испаряются через поверхность растений. Этот процесс включает поглощение и метаболизм загрязняющих веществ и последующий выброс в атмосферу. Также наряду с фитоволатилизацией часто возникает процесс фитодеградации.

Фитоэкстракция – это использование растений для усваивания загрязняющих веществ и их аккумуляции в биомассу. Химические вещества поглощаются из почвы водой и катионными насосами. Стебли и корни собираются после завершения фитоэкстракции и удаляются.

Как мы видим из вышеуказанных методов, для применения на занятиях в школе лучше всего подходит метод фитоэкстракции по следующим причинам:

- 1) данный метод позволяет осознать актуальность экологической проблемы и вызвать сопереживание;
- 2) возможность проведения экспериментов при минимальных экономических затратах;
- 3) возможность анализа загрязняющих веществ после завершения фитоэкстракции;
- 4) формирование представлений об антропогенной деятельности как реальном факторе изменений окружающей природной среды;
- 5) Кроме того, экспериментальные работы показали, что фитоэкстракция, возможно, станет эффективным инструментом для удаления металлов из почвы [2].

Отметим, что техногенное загрязнение окружающей среды, что началось в середине прошлого века, приняло глобальный характер. В 21 веке ситуация продолжает ухудшаться, поскольку увеличиваются темпы роста мирового производства и потребления продукции нефтехимического комплекса. Добыча нефти и газа привела к загрязнению окружающей среды как углеводородными соединениями нефти, так и солями тяжелых металлов. При этом в отличие от углеводородов, загрязнители тяжелыми

металлами не подвергаются процессам разложения, а лишь перераспределяются между компонентами окружающей среды .

Таким образом, наиболее актуальным является рассмотрение технология фиторемедиации почвы загрязненной углеводородными соединениями нефти и солями тяжелых металлов. Данная технология проста в применении. На дисциплинах естественно-технологического цикла в школе ее можно использовать на следующих этапах:

1. Оценка характера загрязнения. Данный этап можно эффективно проводить на уроках химии: исследовать химический состав почвы, а также степень проникновения нефти в почву.

2. Разработка оптимальной схемы фиторемедиации. На уроках биологии можно осуществлять подбор растений, которые подходят для устранения загрязнения и соответствуют почвенно-климатическим условиям. Помимо этого, в данный этап входит оптимизация питания растений и их химическая защита.

3. Выращивание растений. На уроках биологии может осуществляться подготовка почвы, внесение удобрений.

4. Мониторинг участка. Последний этап фиторемедиации осуществляется на уроках химии: определение концентрации компонентов нефти, их распространения, проведение прогнозирования.

Согласно проведенному анализу методов фиторемедиации, можно сделать следующие выводы:

1. Фиторемедиация – это высокоэффективная технология, которая способна сохранить биосферу Земли.

2. Одним из основных препятствий для развития фиторемедиации является низкая экологическая культура населения.

3. От преподавателя во многом зависит способность подрастающего поколения противостоять экологическому кризису, переходу к отношениям экопартнерства между природой и социумом.

Как сообщает Шевченко И. А. с соавторами [58], детальное знакомство с почвой предполагается в третьем, а затем в четвертом классе. В учебнике «Окружающий мир» для третьего класса раздел о почвах начинается с рассказа М. Ильина и Е. Сегала «Чудесная кладовая». Далее дается определение почвы, сообщаются сведения о ее мощности, дается понятие плодородия, описывается ряд опытов, из которых школьники узнают, что почва состоит из песка, глины, перегноя, что в ней имеются вода и воздух, необходимые для жизни растений. Сведения о почвах в учебнике «Окружающий мир» для четвертого класса уже довольно глубокие. Интересно поставленные, понятные ребятам опыты говорят о составе и свойствах этого природного образования. Впервые дается представление о минеральных солях, находящихся в почве, о влагопроницаемости и воздухопроницаемости; отличии от горной породы, образовании, роли живых организмов в этом процессе. Углубляется представление о плодородии почвы, подчеркивается роль человека в повышении плодородия, впервые дается понятие об удобрениях. Специальный раздел посвящен охране почв, борьбе с эрозионными процессами. Для того чтобы создать максимально благоприятные условия для формирования у учащихся понимания ценности почв и необходимости их сохранения и рационального использования, нужно на новом уровне удовлетворить образовательные, духовные потребности учащихся, в полной мере использовать творческий потенциал коллектива. Необходимо усилить исследовательский элемент в изучении почв.

Крамарев С. М. [34] показывает необходимость рассмотрения экологических вопросов, в частности, рекультивации черноземов обыкновенных, загрязненных подвижными формами тяжелых металлов, при изучении курса химии в технических вузах с целью формирования экологического образа мышления у студентов. Он изучает химическое связывание подвижных форм тяжелых металлов сорбент-мелиорантами в нерастворимые соединения. Демонстрирует студентам опыт по

растворимости различных соединений тяжелых металлов, в том числе и их сульфидов в кислоте и щелочи. После проведения этого эксперимента у студентов возникает логичный вопрос: «Как практически провести связывание подвижных форм тяжелых металлов в производственных условиях?». Ответ на поставленный вопрос дают полевые опыты, проведенные авторами этого сообщения на Эрастовской опытной станции Института зернового хозяйства Украинской академии аграрных наук на протяжении 2-х лет (2000-2001 гг.), в которых была установлена целесообразность обработки техногенно-загрязненной почвы тяжелыми металлами водными растворами K_2S , под влиянием которых происходит химическое связывание подвижных форм тяжелых металлов в нерастворимые сульфиды. На изучение этого вопроса уходит один академический час, а полученная польза для будущего инженера-металлурга или строителя очевидна. Потому что он увидел реальный, подтвержденный проведенными экспериментами путь, по которому возможно найти выход из создавшейся кризисной экологической ситуации, существующей на данный момент в Приднепровском регионе.

Бойкова О. И. [6] с соавторами разработала факультатив «Изучение химических свойств почв разных биотопов Тульской области». Он предназначен для учащихся старшей и средней школы (9-11 классы). Он способствует самоопределению, носит вспомогательный характер в выборе будущей профессии и позволяет углубить знания тем ученикам, которые уделяют повышенное внимание предметам естественно-научного цикла. Программа факультатива знакомит учащихся с почвами, ее классификацией и свойствами. Курс включает в себя анализ научной литературы, выполнение практических работ и написание итоговой исследовательской работы. Факультативные занятия позволят старшеклассникам выработать навыки самостоятельной работы, умения анализировать и сопоставлять данные, а также повысить опыт работы в химической лаборатории. В рабочей программе факультатива особое

внимание уделяется проблемам экологического характера. Ученикам предлагается изучение раздела «Источники загрязнения почв», который позволит им ознакомиться с главными загрязнителями почв и осознать важность бережного отношения к природе.

Выводы по первой главе

Поступление ТМ в окружающую среду связано с активной деятельностью человека. Их основные источники – промышленность, автотранспорт, котельные, мусоросжигающие установки и сельскохозяйственное производство.

Изучение литературы показало, несмотря на активную разработку способов фиторемедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами, поиск различных растений, обладающих фиторемедиационным потенциалом, остается актуальным. Как говорилось выше, что в целом вопрос о накоплении и трансформации тяжелых металлов в системе «почва-растение» мало изучен.

Преимущества фиторемедиации очевидны: относительно низкая себестоимость, метод безопасен для окружающей среды. Концепция фиторемедиации базируется на невмешательстве и дружеском отношении к окружающей среде. Использование фиторемедиации как биологического метода очистки требует терпимости и настойчивости со стороны общества.

Исходя из вышеизложенного сформулированы цель и задачи исследований, которые изложены в введении диссертации.

На основе анализа литературных данных, нами рассмотрено проникновение ТМ в корневую систему, передвижение и характер накопления ТМ в листьях древесных и травянистых растений различных климатических зон. По результатам работы можно сделать вывод, что листья тополя бальзамического - *Populus balsamifera* L., в больших количествах концентрируют железо, стронций, цинк, и марганец. Листья крассулы древовидной - *Crassula ovata* (Mill.)Druce., преимущественно

аккумулируют железо, стронций и марганец. В листьях яблони ягодной - *Malus Vaccata* (L.) Borkh и вяза приземистого - *Ulmus pumila* L., отмечается повышенное содержание железа и стронция. Титан, рубидий, медь, хром и никель аккумулируются изучаемыми древесными видами примерно в равных количествах. Разные виды древесных растений имеют свою специфику, определяющую максимальный и минимальный уровень содержания того или иного металла в листьях.

Также в литературе активно рассматриваются в растениях неспецифические и специфические защитные механизмы, которые способны ограничивать поток избыточных ТМ в органы запасаания ассимилятов. В тканях сельскохозяйственных растений при оптимизации минерального питания заметно снижалось содержание тяжелых металлов.

Фиторемедиация в системе образования рассматривается в различных формах и направлениях. Разработаны факультативы по исследованию химического состава почвы, формы экологического образования для формирования бережного отношения к природе. Наиболее полно данный аспект будет нами раскрыт в следующих главах исследования.

ГЛАВА 2. ПЕДАГОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ ШКОЛЬНИКОВ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФАКУЛЬТАТИВА ПО ФИТОРЕМЕДИАЦИИ

2.1 Организация проведения факультатива на базе региональной инновационной площадки ПАО «Комбинат «Магнезит»

МОУ «СОШ № 14» г. Сатка с 2019 года выступает как инновационная региональная площадка. Инновационная площадка – это метод построения инновационного образования, обновление самой практики, который ведет к изменению окружающего социума, основанный на изучении закономерностей инновационного развития посредством моделирования его существенных условий. Инновационная площадка – это форма «выращивания» определенных человеческих способностей в условиях их проектирования. На основании этого для учеников 9 и 10 классов МОУ «СОШ № 14», в которых реализуется интегрированная образовательная программа, предполагающая освоение обучающимися ООП СОО и ОППО по согласованным профессиям рабочих, востребованных на градообразующем предприятии ПАО «Комбинат «Магнезит», была разработана рабочая программа факультативного курса по фиторемедиации почв. В ходе данного курса были проведены исследования по вопросам фиторемедиации почв.

Моя роль как педагога в ходе исследования по фиторемедиации почв заключалась в том, чтобы привить и сформировать у школьников экологическое образование.

В ходе организации проведения факультатива ставились и осуществлялись следующие задачи:

- определить условия выполнения факультативного курса, выделить экспериментальный и контрольный класс школьников;
- обосновать и определить программу факультативного курса, методику его проведения;

– внедрить факультативный курс по исследованию фиторемедиации почв как форму экологического образования школьников в учебный процесс.

Программа исследования фиторемедиации почв содержала в себе три основных этапа, которые представляют собой совокупность взаимосвязанных и взаимодополняемых ситуаций. Эти ситуации осуществлялись, в основном, во внеурочной деятельности и предполагали как коллективный, так и индивидуальный характер работы.

Первый этап (подготовительный) состоял из создания программы исследования, планирования, проведения изучения исходного уровня природоохранительных знаний, отношения к природе школьников.

Второй этап (формирующий) предполагал введение разработанных положений в практику экспериментального класса, определение критериев их эффективности.

Третий этап, (контрольный) включал оценку, обсуждение и объяснение результатов исследования.

Для выяснения степени уровня сформированности экологической культуры школьников на подготовительном этапе было организовано специальное исследование, которое проводилось с помощью беседы. Опрошены учащиеся старших классов МОУ «СОШ №14» г. Сатка. По итогам беседы можно судить, что большинство школьников знают об экологических проблемах. Это можно объяснить тем, что неблагоприятная экологическая обстановка отрицательно сказывается на здоровье жителей, на состоянии растительного и животного мира г. Сатка.

Согласно ежегодным медицинским данным, по Саткинскому району коэффициент смертности от сердечно-сосудистых заболеваний составляет 502 на 100 000 тысяч населения, а смертности от онкозаболеваемости – 196 на 100 000 тысяч населения, что ниже среднеобластного уровня, который равен 250. Данный факт не может не вызывать негативной реакции как взрослых, так и детей. Такие показатели объясняются плохой

экологической обстановкой в районе, связанной с нарушением природного равновесия в процессе промышленной деятельности. Это, безусловно, сказывается на отношении школьников к окружающей среде, на знаниях о взаимовлиянии человека и природы.

В рамках исследуемой проблемы мы исходим из того, что формирование экологической культуры требует адекватных методов и форм обучения.

Среди активных форм обучения особо выделяемы факультативные занятия, при использовании которых в экологическом образовании школьников, мы опираемся на их педагогические возможности, что характеризуется тем, что данная форма позволяет в наибольшей степени ориентировать педагогический процесс на творческую деятельность, способствует формированию у школьника творческого подхода в применении знаний в нестандартных ситуациях. Действие данной формы обучения опирается на известное психологическое положение о том, что способности проявляются и формируются, прежде всего, в деятельности.

Теория и методика организации факультативов исследована в достаточной мере. Тем не менее, как в теоретическом, так и в практическом плане отдельные прикладные вопросы использования факультативных курсов разработаны недостаточно, что позволило нам опытным путем обосновать и показать пути, способы их использования в процессе формирования экологического образования школьников. Использование факультатива направлено на формирование у учащихся наряду с высоким уровнем функциональной грамотности, способности анализировать, интерпретировать, применять самостоятельно добытые знания, овладевать новыми способами решения стоящих перед ними задач.

2.2 Роль педагога при проведении факультатива по фиторемедиации в старших классах

В настоящее время вопрос загрязнения окружающей среды актуален. Из-за деятельности человека данная проблема с каждым днем становится наиболее критической. Загрязняются почвы, водоемы, воздух различными химическими веществами. Улучшить экологическую ситуацию можно с помощью формирования экологического образования человека. Эта роль, в частности, принадлежит педагогической науке, задача которой – поиск новых подходов, форм обучения и методов в образовательном процессе [35].

В условиях современной экологической обстановки значительна система образования и воспитания подрастающего поколения. Исходя из этого, педагогу нужно использовать в своей работе различные формы обучения, одной из которых выступают факультативные занятия. Роль педагога при проведении факультативных занятий состоит в том, что он должен создать благоприятные условия для развития мышления и интереса ученика к знаниям, которые он может применить для выполнения конкретных задач вне школы. Помимо этого должна учитываться возможность самообразования и самореализации, а также развитие таких личностных качеств, как стрессоустойчивость, ответственность, упорство, смелость, коммуникабельность [11].

По окончании факультативных занятий учащимся предлагается выполнить итоговую работу в форме индивидуального проекта. Педагог должен помогать обучающимся на каждом этапе реализации проекта. В ходе работы над проектом он должен выступать не только в качестве наставника и консультанта, а также являться участником исследования. Как сказал древний мыслитель и философ Конфуций: «Учитель и ученик растут вместе».

Исходя из актуальности экологической ситуации, на сегодняшний момент положительное решение вопроса отношений между человеком и природой во многом зависит от педагога, который формирует у школьников экологическое воспитание и образование. Его формирование может продуктивно проводиться при проведении факультатива. Одним из методов, с помощью которого можно в какой-то степени решить экологическую проблему на факультативных занятиях, является метод фиторемедиации.

Как говорилось выше, фиторемедиация – это комплекс методов очистки почв, вод и воздуха с использованием зеленых растений. Можно применять различные приемы – это фитоэкстракция, фитоволотилизация, фитостабилизация и прочее.

Для применения в организации факультатива в школе лучше всего подходит метод фитоэкстракции. Во-первых, он экономически выгоден, во-вторых, прост в практическом осуществлении.

Для наибольшей производительности и успеха экологического воспитания и образования обучающихся важно при проведении факультатива использовать региональный компонент о состоянии среды. На территории Челябинской области, а именно в г. Сатка, как упоминалось ранее, находится промышленное предприятие ПАО «Комбинат «Магнезит» [47].

Как известно, процесс добывания магнезита и производство огнеупорных материалов оказывает колоссальное влияние на окружающую среду. Экологи указывают на такие проблемы, как изменение природного ландшафта, загрязнение воздуха и воды, образование отходов производства, например таких, как формальдегид, тяжелые металлы, фториды, фенолы и т.д.

Данная экологическая ситуация в Саткинском районе является доступной платформой для применения факультативных занятий при исследовании фиторемедиации, так как с помощью растений при

засеивании травами и посадкой деревьев можно восстановить плодородный слой почвы.

Таким образом, можно сделать вывод, что роль педагога важна при проведении факультатива в ходе исследования фиторемедиации, так как сегодня как никогда перед человечеством стоит проблема о необходимости изменения своего отношения к природе и обеспечения соответствующего воспитания и образования подрастающего поколения.

2.3 Разработка факультатива по фиторемедиации для старших классов

Факультативный курс по изучению фиторемедиации почв может стать одной из особенно существенных форм для организации и проведения исследовательской деятельности школьников, также их экологического образования. Почва является хорошим объектом исследования. На сегодняшний день в школьной программе вопросам, связанным с почвой, выделяются считанные часы в рамках уроков по биологии, экологии, химии, географии, поэтому организация внеурочной деятельности по этой теме с элементами исследовательского направления является актуальной. Разработанный нами факультативный курс был запрошен заказчиком ПАО «Комбинат «Магнезит» для подготовки кадров. Данный курс предусматривает лекции и практические работы по рабочей программе, представленной в Приложении 1.

Цель курса: формирование у школьников современных представлений и знаний о направленных экологически безопасных биотехнологических процессах, связанных с очисткой окружающей среды от техногенных загрязнений, деградацией различного характера загрязнений.

Задачи курса:

- сформировать системное представление о новейших технологиях, биотехнологических процессах и системах, ориентированных на защиту окружающей среды и рациональное природопользование;
- дать представление о факторах, влияющих на процессы биодegradации и технологиях фиторемедиации;
- систематизировать знания о современных методах очистки промышленных и природных загрязненных водных сред, фиторемедиации почв.

Программа факультативного курса «Фиторемедиация почв Саткинского района» создана для школьников старших классов. Она благоприятствует самоопределению, носит вспомогательный характер в профессиональной ориентации и пополняет запас знаний тем школьникам, которые уделяют особое внимание предметам естественно-технологического цикла. В курс входит анализ научной литературы, выполнение практических работ. Посещение факультативного курса позволит ученикам выработать навыки самостоятельной работы, умения анализировать и сопоставлять данные, повысить опыт работы в химической лаборатории. В рабочей программе курса большое значение уделяется вопросам экологического характера. Программа рассчитана на учебный год (35 ч). Программа курса нацелена на учащихся старших классов, которые выбрали соответствующий профиль, и которые проявляют заинтересованность к профессиям естественно-технологического направления.

Теоретической основой курса являются химия и биология. В процессе реализации программы, обучающиеся расширяют и углубляют знания по данным предметам, знакомятся с химической посудой специального назначения, овладевают техникой и правилами проведения фиторемедиационных исследований.

Программа курса предполагает ознакомление школьников с основными свойствами почвы, её составом, строением, классификацией.

Так же учащиеся изучают, что является основными загрязнителями почвы и каковы последствия негативного воздействия на нее. Учащиеся приобретают навыки работы с нагревательными приборами, весами, мерной посудой, химическими реактивами, учатся самостоятельно проводить химические анализы различных типов почв.

Схема, отражающая содержание рабочей программы факультативного курса «Фиторемедиация почв Саткинского района» представлена на рисунке 3.

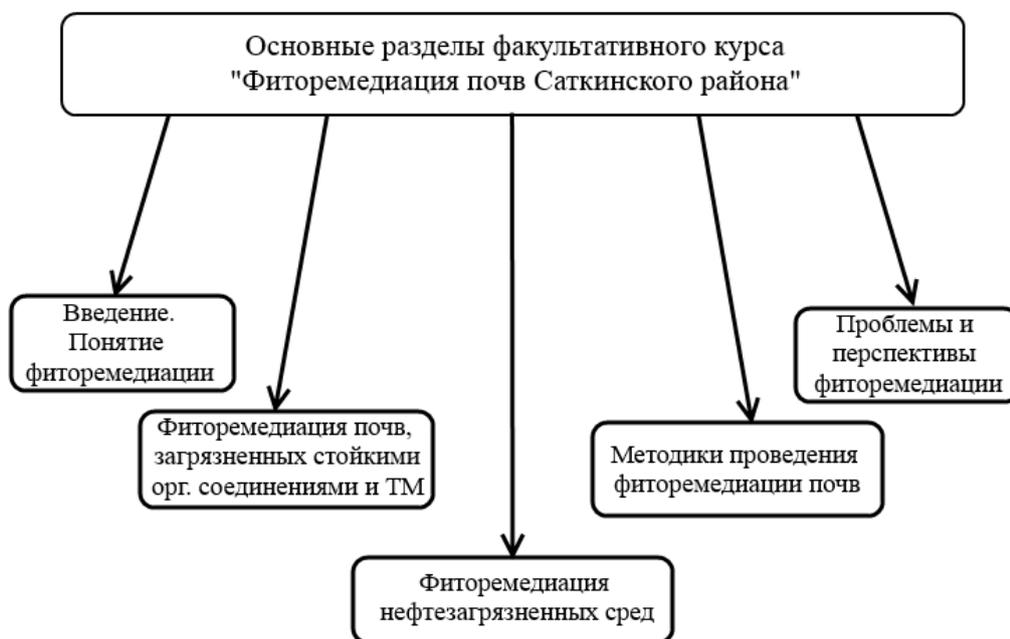


Рисунок 3 – Краткое содержание рабочей программы факультативного курса «Фиторемедиация почв Саткинского района»

Выводы по второй главе

Экологическое образование чрезвычайно актуальная проблема настоящего времени.

Поэтому исследовательская работа проводилась на основе совместной деятельности на базе МОУ «СОШ № 14» г. Сатка с учащимися 9 и 10 классов.

Цель исследовательской работы: изучение эффективности фиторемедиации почвы различными видами растений при проведении факультатива на базе инновационной площадки ПАО «Комбинат «Магнезит». Для проверки состояния сформированности экологического образования проводилась беседа. Ее результаты показали, что знаний о взаимосвязях в природе, охране окружающей среды у школьников достаточно. Для повышения состояния экологического образования школьников по запросу заказчика ПАО «Комбинат «Магнезит» для подготовки кадров была разработана рабочая программа факультативного курса «Фиторемедиация почв Саткинского района» и внедрена в учебный процесс.

Для применения в организации факультатива в школе лучше всего подходит метод фитоэкстракции. Во-первых, он экономически выгоден, во-вторых, прост в практическом осуществлении. Теоретической основой курса являются химия и биология.

Данный курс предусматривает лекции и практические работы по рабочей программе.

Программа курса нацелена на учащихся старших классов, которые выбрали соответствующий профиль, и которые проявляют заинтересованность к профессиям естественно-технологического направления.

ГЛАВА 3. МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ФАКУЛЬТАТИВНЫХ ЗАНЯТИЙ ПРИ РЕАЛИЗАЦИИ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ШКОЛЬНИКОВ

3.1 Объекты и методика исследований

Исследования проводились в Саткинском районе на территориях с различной экологической нагрузкой. Саткинский район находится в северо-западной части Челябинской области. Почвы Саткинского района пребывают в крайне критических условиях из-за водной эрозии, что объясняется большим количеством осадков, высокой влажностью и большой глубиной промерзания. Кроме того, они загрязнены такими тяжелыми металлами, как хром, свинец, молибден, цинк, кобальт, кадмий, мышьяк, никель, ванадий, барий, медь, железо в результате деятельности ПАО «Комбинат «Магnezит» [16; 20].

Для проведения исследования были выбраны следующие объекты: серая лесная почва, взятая на территории ПАО «Комбинат «Магnezит» (на расстоянии 3 км от предприятия), а также чернозем типичный, взятый на территории рп. Межевой на садово-огородном участке.

В качестве исследуемых видов растений были выбраны такие гипераккумуляторы тяжелых металлов, как *Hordeum vulgare* (Ячмень обыкновенный), *Avena sativa* (Овес посевной), *Sinapis alba* (Горчица белая), *Brassica oleracea* (Капуста огородная).

В качестве поллютантов были выбраны кадмий, цинк и медь.

Исследования проводились в лабораторных условиях на базе Водной лаборатории ПАО «Комбинат «Магnezит». Измерение содержания тяжелых металлов в почвенных образцах, а также в растениях проводилось атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «Спираль-17».

3.2 Основные методики исследования почвы при проведении фиторемедиационных работ

Отбор и подготовка проб почвы.

Отбор проб почвы проводился в соответствии с требованиями к отбору проб почв при общих и локальных загрязнениях, изложенными в ГОСТ 17.4.4.02-2017 [19]. Образцы почв отбирали осенью (начало сентября) с верхнего гумусосодержащего горизонта 0-20 см. В качестве инструмента использовали лопату, следовательно, точки отбора располагали методом «конверта» (четыре точки в углах площадки и одна по центру). Пробы почв ссыпали на полиэтиленовую пленку, тщательно перемешивали, затем измельчали и просеивали через сито 1 мм. В подготовленных почвах определяли физико-химические показатели:

- рН водной вытяжки,
- гумус по методу Тюрина,
- гранулометрический состав,
- валовые формы тяжелых металлов атомно-абсорбционным методом.

Определение физико-химических показателей почв Саткинского района.

1. Определение рН водной вытяжки.

Пробы почвы массой 30 г поместили в конические колбы. К пробам прилили цилиндром по 150 мл дистиллированной воды. Почву с водой перемешивали в течение 3 мин с помощью мешалки и оставили на 5 мин для отстаивания.

Часть почвенной суспензии объемом 15-20 мл слили в химический стакан вместимостью 50 мл и использовали для измерения рН. Полученные данные приведены в таблице 1.

2. Определение гумуса по методу Тюрина.

Метод основан на окислении углерода до CO_2 . При этом определение содержания углерода можно проводить двумя способами: титриметрически – по количеству непрореагировавшей хромовой смеси (классический метод Тюрина) и фотометрически – по количеству образовавшегося иона Cr^{3+} (метод Тюрина в модификации ЦИНАО по ГОСТ 26213-91 и метод Тюрина в модификации Никитина). В нашем анализе мы использовали классический метод.

Из подготовленной к анализу почвы (просеянной через сито с диаметром отверстий $\leq 0,5$ мм) на аналитических весах взяли навеску почвы в зависимости от предполагаемого содержания углерода и перенесли в коническую колбу на 100 мл. Прилили 20 мл 0,4 н раствора бихромата калия, осторожно перемешали содержимое колбы, закрыли маленькой воронкой и поставили в сушильный шкаф, предварительно нагретый до 150 °С. Колбы нагрели в сушильном шкафу 20 мин при температуре 150 °С, отсчитывая время нагревания не с момента постановки колб в шкаф, а с момента достижения температуры 150 °С. Колбы поставили в удалении от стенок шкафа на 3-4 см для обеспечения более равномерного нагрева. После нагревания колбы охладили, ополаснули стенки и воронки небольшим количеством дистиллированной воды, добавили 5-6 капель фенилантраниловой кислоты и титровали 0,2 н раствором соли Мора.

В процессе кипения раствор хромовой смеси изменяет свою окраску от красновато-коричневой до буровато-коричневой, а иногда и зеленой. Зеленый цвет хромовой смеси после окончания кипячения свидетельствует о том, что дихромата калия не хватило для полного окисления гумуса почвы. В этом случае анализ нужно повторить с меньшей навеской почвы.

Мокрое сжигание органических соединений почвы хромовой смесью проводят в колбах на электрической плитке. О количестве углерода, содержавшегося в органических соединениях, судят по количеству

оставшегося неизрасходованным бихромата калия, которое определяют титрованием солью Мора.

Содержание органического вещества рассчитывали по формуле (1):

$$C \% = \frac{(V_1 - V_2) \cdot 0,2 \cdot 0,003}{m} \cdot 100 \cdot 1,724 \quad (1)$$

где V_1 – количество раствора соли Мора, израсходованное на титрование хромовой смеси в холостом опыте;

V_2 – количество раствора соли Мора, пошедшее на титрование хромовой смеси анализируемого образца;

m – масса навески.

Полученные данные приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Физико-химические показатели исследуемых почв Саткинского района

Тип почвы	pH водной вытяжки	Гумус по Тюрину, %	Гранулометрический состав
Серая лесная	6,2	3,8	Средний песок (0,25-0,5 мм)
Чернозем типичный	6,8	7,2	Средняя пыль (0,005-0,01 мм)

Из результатов проведенных анализов (таблица 1) можно сделать вывод, что в наших пробах почв находятся преимущественно крупнодисперсные частицы, а это значит, что они легкого гранулометрического состава. Таким образом, почвы имеют низкую поглотительную способность, невысокое содержание гумуса, небольшой размер взвешенных частиц в дисперсной системе и низкую способность коагуляции. По этим результатам можно сделать вывод, что рассматриваемый нами верхний гумусосодержащий горизонт почв не может хорошо поглощать тяжелые металлы и тем самым переводить их в неподвижное состояние.

В нашем исследовании почва серая лесная (6,2) по степени кислотности группируется как слабокислая, а чернозем типичный (6,8) относится к нейтральной. Скорее всего у серой лесной почвы такой

показатель обусловлен преобладанием хвойного и лиственного опада, у чернозема типичного такой показатель обусловлен хорошо развитым травянистым ярусом.

Наши пробы почв имеют следующее содержание органического углерода (серая лесная – 3,8 %, чернозем типичный – 7,2 %), что говорит о низком и среднем содержании общего органического углерода. Органическое вещество может образовывать с тяжелыми металлами разные по растворимости комплексы, что также оказывает влияние на подвижность тяжелых металлов в почве.

Определение валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почве.

Определение тяжелых металлов в почве проводился методом атомно-абсорбционной спектрометрии. Этот метод занимает ведущее положение. При контроле содержания ТМ в почвах возможно сравнить уровень загрязнения почв с естественным фоном. Как правило, при необходимости контроля за техногенным загрязнением почв ТМ, принято определять валовое содержание металла. Однако валовое содержание не всегда может характеризовать степень опасности загрязнения почвы, поскольку почва способна связывать соединения металлов, переводя их в недоступные растениям состояния. Правильнее говорить о роли «подвижных» и «доступных» для растений форм. Определение содержания подвижных форм металлов желательно проводить в случае высоких их валовых количеств в почве, а также, когда необходимо характеризовать миграцию металлов-загрязнителей из почвы в растения.

Подвижные формы металлов извлекаются различными экстрагентами в зависимости от типа свойств металла. В качестве экстрагентов используют кислоты, различные соли, буферные растворы, бидистиллированную воду.

Ход анализа.

1) Градуировка прибора.

Для градуировки прибора и построения градуировочных графиков приготовили серию следующих растворов.

Приготовление группового стандартного раствора кадмия, меди и цинка для определения валового содержания тяжелых металлов в почве.

Для этого использовали ГСОМ-7. Вскрыли ампулу, вылили содержимое в химический стакан, отобрали аликвоту 5 мл и поместили в мерную колбу на 500 мл и довели до метки раствором HNO_3 1 моль/л и перемешали.

Далее готовили групповые рабочие стандартные растворы кадмия, меди и цинка. Для этого в шесть мерных колб на 100 мл поместили указанные в таблице 2 объемы группового раствора, довели содержимое до метки HNO_3 0,5 моль/л и перемешали.

Таблица 2 – Шкала групповых рабочих стандартных растворов, приготовленных на основе ГСОМ-7

№ группового раствора	Объем группового стандартного раствора, мл	Массовая концентрация металлов в групповом растворе, мкг/мл		
		Cd	Cu	Zn
1	0	0	0	0
2	1	0,02	0,1	0,1
3	2	0,04	0,2	0,2
4	3	0,06	0,3	0,3
5	5	0,1	0,5	0,5
6	10	2,0	10	10
7	15	3,0	15	15

Приготовление растворов сравнения для определения подвижных форм тяжелых металлов с помощью ацетатно-аммонийного буфера с $\text{pH}=4,8$.

1) Приготовление основного раствора цинка с массовой концентрацией цинка 1000 мкг/мл: 1,000 г металлического цинка поместили в мерную колбу на 1000 мл и растворили ее в 20 мл 50 %-ной азотной кислоты, и довели до метки HNO_3 1 моль/л.

Из основного раствора цинка готовили рабочие растворы.

2) Приготовление рабочего раствора цинка с массовой концентрацией 100 мкг/мл: в мерную колбу на 100 мл пипеткой отобрали 10 мл основного раствора цинка, довели бидистиллированной водой до метки.

3) Приготовление растворов сравнения цинка. В семь мерных колб на 100 мл каждая прилили объемы рабочих растворов цинка, указанные в таблице 3. Затем довели до метки ацетатно-аммонийным буфером.

Таблица 3 – Объемы рабочего раствора цинка

Характеристика растворов	Объемы рабочего раствора цинка (100 мкг/мл), мл						
	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	15,0
Рабочий раствор	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	15,0
Массовая концентрация раствора сравнения цинка, мкг/мл	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	15,0

4) Приготовление основного раствора меди с массовой концентрацией 1000 мкг/мл: 3,929 г меди сернокислой ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) поместили в мерную колбу на 1000 мл и растворили в бидистиллированной воде, содержащей 1 мл H_2SO_4 (конц.), довели объем раствора до 1 л.

5) Приготовление рабочего раствора меди с массовой концентрацией меди 100 мкг/мл: в мерную колбу на 100 мл пипеткой отобрали 10 мл основного раствора меди, довели до метки ацетатно-аммонийным буферным раствором.

6) Приготовление раствора сравнения меди. В семь мерных колб на 100 мл каждая налили указанные в таблице 4 объемы рабочего раствора меди и довели объемы растворов до 100 мл ацетатно-аммонийным буферным раствором.

Таблица 4 – Объемы рабочего раствора меди

Характеристика растворов	Объемы рабочего раствора меди (100 мкг/мл), мл						
	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	15,0
Рабочий раствор							
Массовая концентрация раствора сравнения меди, мкг/мл	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	15,0

7) Приготовление основного раствора кадмия с массовой концентрацией 1000 мкг/мл: 1,1423 г окиси кадмия (CdO) поместили в мерную колбу на 1000 мл. Цилиндром вместимостью 50 мл прилили 20 мл 50 %-ной азотной кислоты и растворили в ней навеску, довели объем раствора до метки 1М HNO₃.

8) Приготовление рабочего раствора кадмия (I) с массовой концентрацией кадмия 100 мкг/мл: в мерную колбу на 100 мл пипеткой отобрали 10 мл основного раствора кадмия и довели объем до 100 мл экстрагирующим раствором.

9) Приготовление рабочего раствора кадмия (II) с массовой концентрацией кадмия 10 мкг/мл: в мерную колбу вместимостью 100 мл пипеткой отобрали 10 мл рабочего раствора кадмия (I), довели объем до метки экстрагирующим раствором.

10) Приготовление растворов сравнения кадмия. В семь мерных колб на 100 мл добавили указанные в таблице 5 объемы рабочего раствора кадмия (II) и довели объемы растворов до 100 мл ацетатно-аммонийным буферным раствором.

Таблица 5 – Объемы рабочего раствора кадмия (II)

Характеристика растворов	Объемы рабочего раствора кадмия (II) (100 мкг/мл), мл						
	0,2	0,5	1,0	2,0	5,0	10,0	15,0
Рабочий раствор							
Массовая концентрация раствора сравнения кадмия, мкг/мл	0,02	0,05	0,10	0,20	0,50	1,00	1,50

При градуировке прибора получили данные, приведенные в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты измерения тяжелых металлов в почвенных вытяжках

Номер колбы стандартного раствора	Концентрация стандартного раствора, мкг/мл			Оптическая плотность при измерении стандартных растворов, А		
	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn	Cd
1	0	0	0	0	0	0
2	0,1	0,1	0,02	0,013	0,009	0,003
3	0,2	0,2	0,04	0,022	0,015	0,01
4	0,3	0,3	0,06	0,031	0,023	0,018
5	0,5	0,5	0,10	0,049	0,094	0,036
6	10,0	10,0	2,00	0,918	0,975	0,484
7	15,0	15,0	3,00	1,420	1,390	0,742

По данным таблицы 6 построили градуировочную зависимость для меди, цинка и кадмия, изображенную на рисунках 4, 5 и 6.

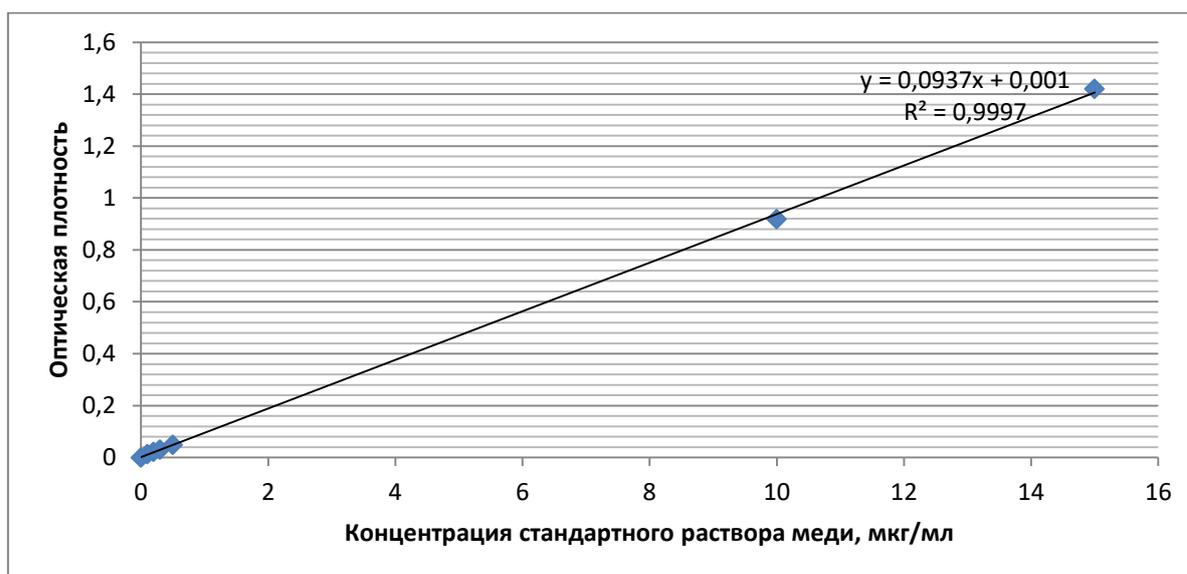


Рисунок 4 – Градуировочная зависимость для меди

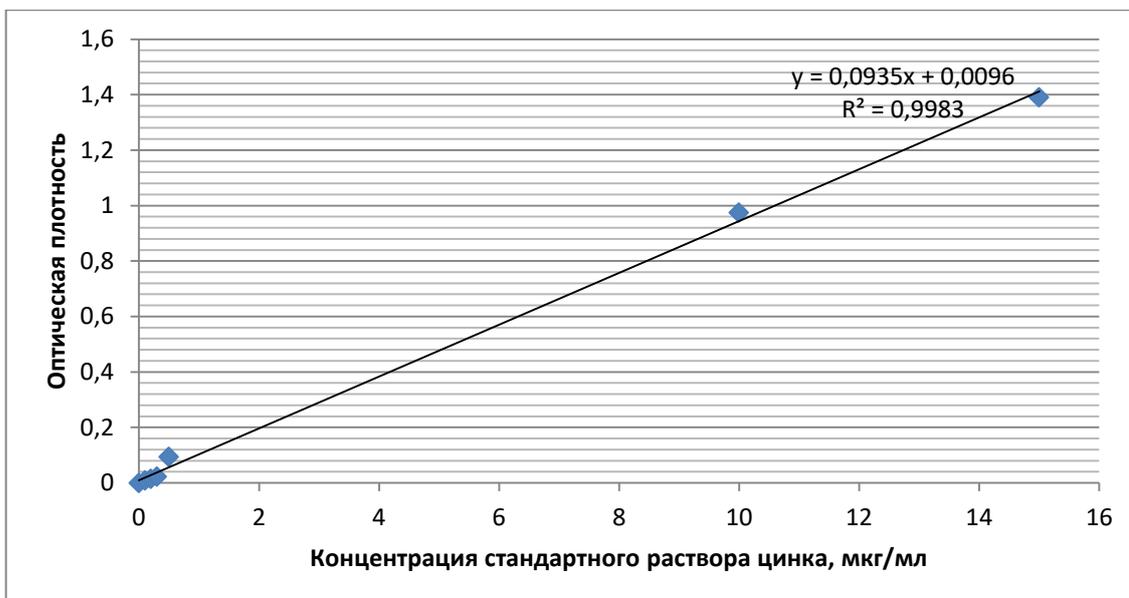


Рисунок 5 – Градуировочная зависимость для цинка

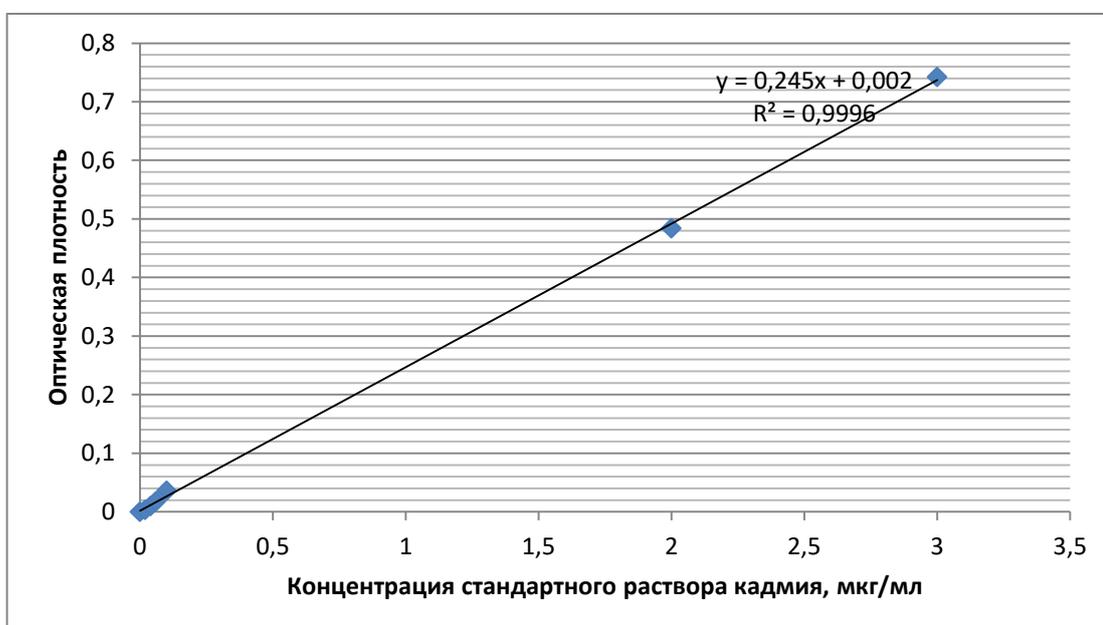


Рисунок 6 – Градуировочная зависимость для кадмия

Содержание металлов в исследуемых образцах почв рассчитывали по формуле (2):

$$x = \frac{V(C_1 - C_0)}{m} \quad (2)$$

где x – массовая доля определяемого металла в воздушно-сухой пробе почвы, млн^{-1} (мг/кг);

V – объем исследуемого раствора, мл;

C_1 – концентрация металла в исследуемой кислотной (буферной) вытяжке почвы, найденная по градуировочному графику, мкг/мл;

C_0 – концентрация металла в контрольной пробе, найденная по градуировочному графику, мкг/мл;

m – масса воздушно-сухой пробы почвы, г.

Массовые концентрации тяжелых металлов, найденные по градуировочным графикам, представлены в таблице 7.

Таблица 7 – Массовые концентрации тяжелых металлов, найденные по градуировочным графикам, мкг/мл

Тип почвы	Показания оптической плотности вытяжек, А			Массовые концентрации тяжелых металлов, мкг/мл		
	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn	Cd
Серая лесная	1,13	4,39	0,007	12,10	46,83	0,019
Чернозем типичный	0,116	1,66	0,004	1,23	17,61	0,007

Расчет массовой доли меди в воздушно-сухой пробе серой лесной почвы рассчитывали по уравнению (3):

$$x = \frac{100 \cdot 12,10}{10} = 121,0 \text{ мг/кг} \quad (3)$$

Расчет массовой доли цинка в воздушно-сухой пробе серой лесной почвы рассчитывали по уравнению (4):

$$x = \frac{100 \cdot 46,83}{10} = 468,3 \text{ мг/кг} \quad (4)$$

Расчет массовой доли кадмия в воздушно-сухой пробе серой лесной почвы рассчитывали по уравнению (5):

$$x = \frac{100 \cdot 0,019}{10} = 0,19 \text{ мг/кг} \quad (5)$$

Расчет массовой доли меди в воздушно-сухой пробе чернозема типичного рассчитывали по уравнению (6):

$$x = \frac{100 \cdot 1,23}{10} = 12,3 \text{ мг/кг} \quad (6)$$

Расчет массовой доли цинка в воздушно-сухой пробе чернозема типичного рассчитывали по уравнению (7):

$$x = \frac{100 \cdot 17,61}{10} = 176,1 \text{ мг/кг} \quad (7)$$

Расчет массовой доли кадмия в воздушно-сухой пробе чернозема типичного рассчитывали по уравнению (8):

$$x = \frac{100 \cdot 0,007}{10} = 0,07 \text{ мг/кг} \quad (8)$$

Аналогично определили показатели оптической плотности, массовые концентрации и массовую долю тяжелых металлов для подвижных форм тяжелых металлов.

2) Определение валового содержания тяжелых металлов в почве.

10 г воздушно-сухой почвы, измельченной и пропущенной через сито с отверстиями 1 мм, взвесили на технических весах, поместили навеску в коническую колбу вместимостью 250 мл и прилили 50 мл HNO_3 (1:1) .

Вращательным движением колбы осторожно перемешали содержимое. Стакан закрыли часовым стеклом и поместили на электрическую плиту, довели до кипения и кипятили 10 мин. Затем к пробе по каплям прилили 10 мл концентрированной перекиси водорода при перемешивании и вновь поместили на электроплитку, кипятили еще 10 мин.

После охлаждения до комнатной температуры суспензию отфильтровали через складчатый фильтр «синяя лента» в мерную колбу

вместимостью 100 мл, фильтр с осадком поместили в стакан, в котором остался остаток почвы. Прилили в стакан 40 мл 1М азотной кислоты и поместили его на плиту, нагрели и кипятили еще 30 мин.

После охлаждения до комнатной температуры жидкость в стакане отфильтровали в ту же мерную колбу. Осадок на фильтре промыли горячей азотной кислотой концентрации с $(\text{HNO}_3) = 1$ моль/л и после охлаждения довели объем фильтрата в мерной колбе до метки бидистиллированной водой. Одновременно провели «холостой» анализ, включая все его стадии, кроме взятия пробы почвы.

В полученном фильтрате определяли элементы атомно-абсорбционным методом. Данные представлены в таблице 8.

Таблица 8 – Содержание валовых форм тяжелых металлов в исследуемых пробах до выращивания растений и нормативы, мг/кг

Тип почвы	Концентрация тяжелых металлов, мг/кг		
	Cu	Zn	Cd
Серая лесная	121,0	468,3	0,19
Чернозем типичный	12,3	176,1	0,07
ПДК	33,00	55,00	0,50
РГФ	49,00	223,00	0,15

3) Экстракция подвижных форм тяжелых металлов ацетатно-аммонийным буферным раствором с $\text{pH}=4,8$.

Пробу почвы массой 10 г поместили в коническую колбу вместимостью 100 мл, прилили 50 мл ацетатно-аммонийного буфера.

Суспензию настаивали в течение суток. Вытяжку фильтровали через сухой складчатый фильтр «белая лента». К оставшейся в колбе почве прилили еще 50 мл ацетатно-аммонийного буфера и экстрагирование повторили. Повторное фильтрование произвели в ту же колбу, перенося на фильтр максимальное количество почвы.

Одновременно провели холостой анализ, включая все его стадии, кроме взятия проб почвы.

В полученном фильтрате определяли элементы атомно-абсорбционным методом. Данные представлены в таблице 9.

Таблица 9 – Содержание подвижных форм тяжелых металлов в исследуемых пробах, мг/кг

Тип почвы	Концентрация тяжелых металлов, мг/кг		
	Cu	Zn	Cd
Серая лесная	13,15	55,75	<0,001
Чернозем типичный	1,44	16,23	<0,001
ПДК	3,00	23,00	-

Серая лесная почва, взятая на территории ПАО «Комбинат «Магнезит» подвержены большому техногенному загрязнению в результате деятельности завода. Чернозем типичный взят в экологически чистом поселке Межевой Саткинского района.

Анализируя данные таблиц 8 и 9, видим, что валовое содержание меди на серых лесных почвах превышает ПДК в 3,7 раз, цинка – 8,5 ПДК. Чернозем типичный загрязнен цинком – 3,2 ПДК. Валовое содержание кадмия не превышает нормативов во всех почвах.

В серых лесных почвах содержание валовых форм меди было 121,0 мг/кг, а подвижных 13,15 мг/кг или 10,87 % от валового содержания. Валовое содержание цинка 468,3 мг/кг, а подвижное – 55,75 мг/кг, что составляет 11,90 %.

В черноземе содержание валовых форм меди было 12,3 мг/кг, а подвижных 1,44 мг/кг или 11,71 % от валового содержания. Валовое содержание цинка 176,1 мг/кг, а подвижное – 16,23 мг/кг, что составляет 9,22 %.

Определение опасности загрязнения почв тяжелыми металлами.

Помимо нахождения количественных показателей содержания тяжелых металлов в почвах, важное значение имеет определение опасности загрязнения.

Для определения опасности загрязнения почв тяжелыми металлами были выполнены лабораторные исследования по определению их наличия в исследуемых почвах, приведенные в таблице 10.

Таблица 10 – Содержание тяжелых металлов в исследуемых почвах

Тип почвы	Валовые концентрации тяжелых металлов в исследуемых образцах почвы, мг/кг					
	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Mn
Серая лесная	121,0	468,3	0,19	299,4	51,2	832,0
Чернозем типичный	12,3	176,1	0,07	95,7	27,3	325,4
ПДК	55	55	-	32	85	1500
РГФ	49	223	0,22	130	80	1060

Используя данные, представленные в таблице 10, были рассчитаны коэффициенты концентрации элемента (K_c) по формуле (9). Он показывает отношение содержания элемента в загрязненной почве к фоновому:

$$K_c = \frac{c_i}{c_\phi} \quad (9)$$

где K_c – коэффициент концентрации;

c_i – содержание элемента в почве;

c_ϕ – фоновое содержание элемента в почве.

С помощью коэффициента концентрации (коэффициента аномальности по В. В. Добровольскому [21]) возможно дать оценку интенсивности загрязнения металлами гумусового горизонта почв. Отношение содержания валовых форм ТМ к их фоновому содержанию показывает, что в исследуемых почвах в пределах природных колебаний находится валовое количество большей части металлов (природная флюктуация ($K_c < 5$, слабое загрязнение $5 < K_c < 10$, умеренное загрязнение $10 < K_c < 30$, сильное загрязнение $K_c > 30$)).

Рассчитанные коэффициенты концентрации тяжелых металлов приведены в таблице 11.

Таблица 11 – Коэффициенты концентрации тяжелых металлов

Тип почвы	Коэффициент концентрации, K_c					
	Cu	Zn	Cd	Pb	Ni	Mn
Серая лесная	2,47	2,10	0,86	2,3	0,64	0,78
Чернозем типичный	0,25	0,79	0,32	0,74	0,34	0,31

Во всех случаях коэффициент концентрации $K_c < 5$, что свидетельствует о природной флюктуации.

Также мы провели расчеты суммарного показателя опасности загрязнения Z_c (показатель Саета), который определяли по формуле (10).

$$Z_c = \sum_{i=1}^n K_c - (n - 1), \quad (10)$$

где Z_c – суммарный показатель загрязнения;

n – число суммируемых элементов;

K_c – коэффициент концентрации.

Критические значения, позволяющие охарактеризовать суммарное загрязнение Z_c по степени опасности, таковы: при $Z_c < 16$ загрязнение считается не опасным; при $16 < Z_c < 32$ загрязнение считается умеренно опасным; при $32 < Z_c < 128$ – опасным; при $Z_c > 128$ – чрезвычайно опасным [12].

Расчеты показали, что величина Z_c в условиях ПАО «Комбинат «Магнезит» на серых лесных почвах 4,15 единиц, что говорит о том, что загрязнение не опасно. Величина Z_c на черноземе типичном < 16 , что также свидетельствует о том, что загрязнение считается не опасным.

Суммарный показатель опасности загрязнений (таблица 12) определяет распределение почв по группам загрязнения, показателей здоровья населения в очагах загрязнения, разработки принципиальной схемы оценки почв, процедур по детоксикации и их сельскохозяйственного использования.

Таблица 12 – Ориентировочная шкала опасности загрязнения почв

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

Проведенные расчеты опасности загрязнения (4,15 единиц) позволяют отнести почвы к группе низких для человека и животных.

3.3 Определение фиторемедиационного потенциала растений в ходе исследовательской деятельности школьников

Определение тяжелых металлов в растительных образцах.

На исследуемых почвах в деревянных ящиках на протяжении 45 дней в теплице при температуре 25-27 °С выращивали следующие растения: ячмень обыкновенный, овес посевной, капусту огородную, горчицу белую. Для того чтобы обеспечить растения макроэлементами питания растений, в почву перед посадкой растений вносили минеральное удобрение «Fertika».

Отбор проб растений проводили следующим образом: наземную часть растения срезали ножом, не засоряя почвой, укладывали в полиэтиленовую пленку.

Тяжелые металлы в растительных пробах определяли в их зольных растворах на атомно-абсорбционном спектрофотометре.

Объединенные пробы растений измельчили, высушили в сушильном шкафу при температуре 60-65 °С до воздушно-сухого состояния. Затем провели минерализацию проб растений методом сухого озоления.

В тигель поместили 20 г исследуемой пробы. Затем его поместили в холодную печь и повысили температуру до 200—250 °С (до появления дыма). После прекращения выделения дыма температуру печи довели до 525 °С и прокачивали на протяжении 3 ч.

Отсутствие частичек угля указывало на полное озоление пробы.

Далее провели кислотную экстракцию тяжелых металлов из золы. Для этого золу смочили несколькими каплями бидистиллированной воды, затем бюреткой к золе прибавили 10 мл азотной кислоты разбавленной (1:1), накрыли тигель стеклом и нагрели на электроплитке до кипения.

Содержимое тигля отфильтровали в мерную колбу на 50 мл. Тигель и фильтр несколько раз сполоснули горячей бидистиллированной водой, доводя объем раствора до метки.

Содержимое колбы перемешали и оставили до следующего дня для отстаивания. После отстаивания растворы использовали для анализа.

Одновременно проводили контрольный опыт, включая все стадии анализа, кроме взятия проб растительного материала.

Измерение массовых концентраций тяжелых металлов в растительных образцах проводилось атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «Спираль 17». Содержание тяжелых металлов определялось в наземных органах растений.

Медь. По степени опасности медь отнесена ко II группе. Данный элемент играет большую роль в процессах фотосинтеза, дыхания, восстановлении и фиксации азота. Медь вместе с цинком отвечает за процессы репродукции, контролируя образование зерен и стерильности спор. Медь имеет влияние на проницаемость сосудов ксилемы, контролирует водный баланс, при ее нехватке растение теряет тургор при достаточном содержании влаги в почве. Медь оказывает влияние на

механизмы, которые определяют устойчивость к болезням, повышает засухо-, морозо- и жароустойчивость [13]. Также она контролирует образование ДНК и РНК. При больших концентрациях элемента происходит разрушение тканей, нарушение процессов фотосинтеза, хлороз.

Содержание меди в растениях после высадки их на загрязненных почвах представлено в таблице 13.

Таблица 13 – Содержание меди в растениях

Растение	Часть растения	Содержание меди, мг/кг сухого вещества	
		Серая лесная почва	Чернозем типичный
Ячмень обыкновенный	Побеги	4,7	2,4
	Корни	7,1	3,6
Овес посевной	Побеги	8,8	1,7
	Корни	20,5	2,6
Капуста огородная	Побеги	2,5	0,8
	Корни	15,5	10,8
Горчица белая	Побеги	8,3	4,1
	Корни	14,1	5,4
ПДК (в побегах)		5	

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что овес посевной, выращенный на серых лесных почвах, лучше других растений аккумулирует медь в корнях 20,5 мг/кг и побегах 8,8 мг/кг (1,8 ПДК). Наименьшая аккумуляция меди в корнях 7,1 мг/кг у ячменя обыкновенного, в побегах 2,5 мг/кг у капусты огородной.

Что касается растений, выращенных на черноземе типичном, то лучшим накопительным эффектом обладает капуста огородная. Аккумуляция в корнях составила 10,8 мг/кг.

Содержание меди в побегах капусты огородной, выращенной на черноземе, минимальное (0,8 мг/кг). Концентрация меди в корнях овса посевного, выращенного на черноземе, также минимальна (2,6 мг/кг).

Цинк. По степени опасности цинк относят к I группе. Главная роль цинка в растениях связана с метаболизмом углеводов, протеинов и фосфатов, образованием ДНК и рибосом. Металл имеет большое значение в образовании генеративных органов и плодоношении. Высокое содержание цинка в растениях является серьезной опасностью (нарушается синтез хлорофилла), его дефицит замедляет их рост, бывает побеление верхних листьев, хлорозы, скручивание листовых пластин и черешков, мелколиственность. Цинк повышает устойчивость растений к сухим и жарким погодным условиям, а также к бактериальным заболеваниям.

Содержание цинка в растениях после высадки их на исследуемых почвах представлено в таблице 14.

Таблица 14 – Содержание цинка в растениях

Растение	Часть растения	Содержание цинка, мг/кг сухого вещества	
		Серая лесная почва	Чернозем типичный
Ячмень обыкновенный	Побеги	118,3	38,8
	Корни	108,9	50,3
Овес посевной	Побеги	123,2	112,4
	Корни	110,0	67,4
Капуста огородная	Побеги	137,4	49,7
	Корни	293,1	110,2
Горчица белая	Побеги	74,8	57,8
	Корни	97,8	28,8
ПДК (в побегах)		10	

Из растений, которые были выращены на серых лесных в почвах, лучше всего в корнях аккумулирует цинк капуста огородная (293,1 мг/кг), хуже горчица белая (97,8 мг/кг). В побегах цинк лучше всего накапливается также у капусты огородной 137,4 мг/кг (13,7 ПДК), хуже практически в 2 раза у горчицы 97,8 мг/кг (9,8 ПДК).

Анализируя растения, выращенный на черноземе, можно наблюдать, что лучше всего аккумулирует цинк в корнях капуста огородная (110,2 мг/кг), хуже горчица белая (28,8 мг/кг). Если рассматривать аккумуляцию

металла в побегах, то видим, что максимальное накопление происходит в овсе посевном 112,4 мг/кг (11,2 ПДК), минимальное – в ячмене обыкновенном 38,8 мг/кг (3,9 ПДК).

Особый интерес вызывает то, что у некоторых растений (ячмень обыкновенный, овес посевной, выращенные на серых лесных почвах, а также овес посевной и горчица белая, выращенные на черноземе), выявлено увеличение скорости транспорта цинка именно в побеги растений. По-видимому, при таких концентрациях цинка в исследуемых почвах (серая лесная – 468,3 мг/кг, чернозем – 176,1 мг/кг) не происходит торможение их транспорта в побеги растений, так как данные концентрации не являются порогами токсичности, не происходит активации физиологических барьеров, находящихся на границе «корень-побег» [40].

Кадмий. По степени опасности кадмий отнесен к первой группе канцерогенных веществ. Загрязнение почвы кадмием является одним из наиболее опасных экологических явлений. В основе токсического действия кадмия на растения лежит его высокое сродство к сульфгидрильным группам клеточных белков. Встраиваясь в молекулу структурного белка или фермента, кадмий вызывает замедление клеточного деления, изменяет структуру и проницаемость мембран, снижает активность ферментов. В результате происходят многочисленные изменения физиологических процессов. В частности, ингибируются многие фотосинтетические реакции, изменяется интенсивность дыхания, нарушается водный обмен и минеральное питание. Эти и другие изменения основных физиологических процессов приводят к торможению роста и развития растений и, в конечном счете, к значительному снижению их продуктивности, а в отдельных случаях даже к гибели растений.

Содержание кадмия в растениях после высадки их на исследуемых почвах представлено в таблице 15.

Таблица 15 – Содержание кадмия в растениях

Растение	Часть растения	Содержание кадмия, мг/кг сухого вещества	
		Серая лесная почва	Чернозем типичный
Ячмень обыкновенный	Побеги	< 0,05	< 0,05
	Корни	0,07	< 0,05
Овес посевной	Побеги	0,06	< 0,05
	Корни	0,11	< 0,05
Капуста огородная	Побеги	< 0,05	< 0,05
	Корни	< 0,05	< 0,05
Горчица белая	Побеги	< 0,05	< 0,05
	Корни	< 0,05	< 0,05
ПДК (в побегах)		0,03	

Содержание кадмия в органах растений удалось определить только для овса посевного, выращенного на серой лесной почве. Для остальных растений определение содержания кадмия оказалось невозможным, так как предел обнаружения Cd на спектрофотометре «Спираль 17» равен 0,02 мкг/л.

Расчет коэффициентов биологического поглощения (биоконцентрационных факторов) и коэффициентов передвижения (транслокационных факторов).

Для оценки фиторемедиационного потенциала различных растений использовали два фактора: биоконцентрационный и транслокационный.

1) Коэффициент биологического поглощения (биоконцентрационный фактор) – это отношение содержания тяжелых металлов в корнях или побегах растения к содержанию тяжелых металлов в почве. Его рассчитали по формуле (11):

$$БФ = \frac{C_k(C_p)}{C_{почва}} \quad (11)$$

где C_k – концентрация тяжелого металла в корнях растения, мг/кг;

C_p – концентрация тяжелого металла в побегах растения, мг/кг;

$C_{\text{почва}}$ – концентрация тяжелого металла в почве, мг/кг.

При значении коэффициента биологического поглощения, равном 100-10 – металл относится к категории энергичного поглощения, при 10-1 – к категории сильного поглощения, при 1-0,1 – к категории слабого поглощения и среднего захвата, при 0,1-0,01 – к категории слабого захвата, при 0,01-0,001 – к категории очень слабого захвата.

2) Коэффициент передвижения (транслокационный фактор) – это отношение содержания тяжелого металла в побегах растения к содержанию тяжелого металла в корнях растения. Его рассчитали по формуле (12):

$$ТФ = \frac{C_{\text{п}}}{C_{\text{к}}} \quad (12)$$

где $C_{\text{п}}$ – концентрация тяжелого металла в побегах растения, мг/кг;

$C_{\text{к}}$ – концентрация тяжелого металла в корнях растения, мг/кг.

Значение $ТФ < 1$ свидетельствует об аккумуляции тяжелых металлов преимущественно в корнях, $ТФ > 1$ – в побегах.

Результаты расчетов коэффициентов биологического поглощения (БФ) и коэффициентов передвижения (ТФ) приведены в таблицах 15, 16, 17 и 18.

Таблица 16 – Коэффициенты биологического поглощения тяжелых металлов побегами растений

Растение	Коэффициент биологического накопления ТМ побегами растений					
	Серая лесная почва			Чернозем типичный		
	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn	Cd
Ячмень обыкновенный	0,039	0,25	-	0,20	0,22	-
Овес полевой	0,073	0,26	0,32	0,14	0,64	-
Капуста огородная	0,021	0,29	-	0,065	0,28	-
Горчица белая	0,069	0,16	-	0,33	0,33	-

Медь. Анализируя полученные расчеты можно сделать вывод, что все растения, выращенные на серых лесных почвах, относятся к категории слабого захвата ТМ побегами. Капуста огородная, выращенная на черноземе типичном также относится к категории слабого захвата, а остальные растения, выращенные на черноземе, относятся к категории слабого поглощения и среднего захвата. Овес посевной, выращенный на серой лесной почве, и горчица белая, выращенная на черноземе, лучше остальных растений накапливают в побегах медь.

Цинк. Коэффициент биологического поглощения цинка побегами практически у всех растений одинаков и варьируется в пределах от 0,22 до 0,33, что говорит о слабом поглощении и среднем захвате элемента. Исключением является горчица белая, выращенная на серой лесной почве (минимальный КБП 0,16) и овес посевной, выращенный на черноземе (максимальный КБП 0,64). Но данные растения также относятся к группе слабого поглощения и среднего захвата.

Кадмий. Коэффициент биологического поглощения кадмия побегами овса посевного равен 0,32, что свидетельствует о слабом поглощении и среднем захвате элемента. Остальные исследуемые растения относятся к группе очень слабого захвата.

Таблица 17 – Коэффициенты биологического накопления тяжелых металлов корнями растений

Растение	Коэффициент биологического накопления ТМ корнями растений					
	Серая лесная почва			Чернозем типичный		
	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn	Cd
Ячмень обыкновенный	0,059	0,23	0,37	0,29	0,28	-
Овес посевной	0,17	0,23	0,58	0,21	0,38	-
Капуста огородная	0,13	0,62	-	0,88	0,63	-
Горчица белая	0,12	0,21	-	0,44	0,16	-

Медь. Анализируя полученные расчеты можно сделать вывод, что все растения, кроме ячменя обыкновенного, выращенные на серых лесных

почвах, относятся к категории слабого поглощения и среднего захвата ТМ корнями. Ячмень обыкновенный относится к категории слабого захвата. Все растения, выращенные на черноземе, относятся к группе слабого поглощения и среднего захвата. Овес посевной, выращенный на серых лесных почвах, и капуста огородная, выращенная на черноземе, лучше остальных накапливают ТМ в корнях.

Цинк. Коэффициент биологического поглощения цинка у всех растений лежит в диапазоне 1-0,1. Исходя из этого можно сделать вывод, что исследуемые растения по аккумуляции цинка корнями относятся к категории слабого поглощения и среднего захвата. Капуста огородная в обоих случаях имеет максимальное поглощение по сравнению с другими растениями.

Кадмий. Коэффициент биологического поглощения у овса посевного и ячменя обыкновенного, выращенных на серых лесных почвах лежит в пределах 0,1-1. Данные растения относятся к категории слабого поглощения и среднего захвата. Остальные растения относятся к категории очень слабого захвата.

Таблица 18 – Коэффициенты передвижения тяжелых металлов

Растение	Коэффициент передвижения ТМ					
	Серая лесная почва			Чернозем типичный		
	Cu	Zn	Cd	Cu	Zn	Cd
Ячмень обыкновенный	0,66	1,09	-	0,67	0,77	-
Овес посевной	0,43	1,12	0,54	0,65	1,67	-
Капуста огородная	0,16	0,47	-	0,074	0,45	-
Горчица белая	0,59	0,76	-	0,76	2,01	-

Медь. Полученные расчеты показывают нам, что медь аккумулируется преимущественно в корнях растений, так как ТФ у всех растений <1.

Цинк. Полученные расчеты свидетельствуют о том, что цинк аккумулируется в корнях у следующих растений: капусты огородной и

горчицы белой, выращенных на серой лесной почве, и у ячменя обыкновенного и капусты огородной, выращенных на черноземе, так как ТФ в данных случаях < 1 . У ячменя и овса, выращенных на серой лесной почве, а также овса и горчицы, выращенных на черноземе, цинк аккумулируется преимущественно в побегах, так как ТФ > 1 .

Кадмий. Полученные расчеты свидетельствуют о том, что кадмий аккумулируется в корнях у овса посевного, так как ТФ < 1 . Для остальных растений коэффициент передвижения определить не удалось.

Выводы по третьей главе

Исследования проводились в Саткинском районе на территориях с различной экологической нагрузкой. Саткинский район находится в северо-западной части Челябинской области. Почвы загрязнены такими тяжелыми металлами, как хром, свинец, молибден, цинк, кобальт, кадмий, мышьяк, никель, ванадий, барий, медь, железо в результате деятельности ПАО «Комбинат «Магнезит».

Для проведения исследования были выбраны следующие объекты: серая лесная почва, взятая на территории ПАО «Комбинат «Магнезит» (на расстоянии 3 км от предприятия), которая подвержена большому техногенному загрязнению в результате деятельности завода, а также чернозем типичный, взятый на территории рп. Межевой на садово-огородном участке, который считается экологически чистым.

В качестве исследуемых видов растений были выбраны такие гипераккумуляторы тяжелых металлов, как *Hordeum vulgare* L. (Ячмень обыкновенный), *Avena sativa* L. (Овес посевной), *Sinapis alba* L. (Горчица белая), *Brassica oleracea* L. (Капуста огородная). В качестве поллютантов были выбраны кадмий, цинк и медь.

Исследования проводились на базе Водной лаборатории ПАО «Комбинат «Магнезит». Измерение содержания тяжелых металлов в

почвенных образцах, а также в растениях проводилось атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «Спираль-17».

При анализе было выявлено валовое содержание меди на серых лесных почвах, которое превышает ПДК в 3,7 раз, цинка – 8,5 ПДК. Чернозем типичный загрязнен цинком – 3,2 ПДК. Валовое содержание кадмия не превышает нормативов во всех почвах.

В серых лесных почвах содержание валовых форм меди было 121,0 мг/кг, а подвижных 13,15 мг/кг или 10,87 % от валового содержания. Валовое содержание цинка 468,3 мг/кг, а подвижное – 55,75 мг/кг, что составляет 11,90 %.

В черноземе содержание валовых форм меди было 12,3 мг/кг, а подвижных 1,44 мг/кг или 11,71 % от валового содержания. Валовое содержание цинка 176,1 мг/кг, а подвижное – 16,23 мг/кг, что составляет 9,22 %.

Анализируя полученные данные можно сделать вывод, что овес посевной, выращенный на серых лесных почвах, лучше других растений аккумулирует медь в корнях 20,5 мг/кг и побегах 8,8 мг/кг (1,8 ПДК). Наименьшая аккумуляция меди в корнях 7,1 мг/кг у ячменя обыкновенного, в побегах 2,5 мг/кг у капусты огородной.

Что касается растений, выращенных на черноземе типичном, то лучшим накопительным эффектом обладает капуста огородная. Аккумуляция в корнях составила 10,8 мг/кг.

Содержание меди в побегах капусты огородной, выращенной на черноземе, минимальное (0,8 мг/кг). Концентрация меди в корнях овса посевного, выращенного на черноземе, также минимальна (2,6 мг/кг).

Из растений, которые были выращены на серых лесных в почвах, лучше всего в корнях аккумулирует цинк капуста огородная (293,1 мг/кг), хуже горчица белая (97,8 мг/кг). В побегах цинк лучше всего накапливается также у капусты огородной 137,4 мг/кг (13,7 ПДК), хуже практически в 2 раза у горчицы 97,8 мг/кг (9,8 ПДК).

Анализируя растения, выращенный на черноземе, можно наблюдать, что лучше всего аккумулирует цинк в корнях капуста огородная (110,2 мг/кг), хуже горчица белая (28,8 мг/кг). Если рассматривать аккумуляцию металла в побегах, то видим, что максимальное накопление происходит в овсе посевном 112,4 мг/кг (11,2 ПДК), минимальное – в ячмене обыкновенном 38,8 мг/кг (3,9 ПДК).

Содержание кадмия в органах растений удалось определить только для овса посевного, выращенного на серой лесной почве. Для остальных растений определение содержания кадмия оказалось невозможным, так как предел обнаружения Cd на спектрофотометре «Спираль 17» равен 0,02 мкг/л.

Таким образом, наибольшее извлечение меди из почвы отмечается у горчицы белой и капусты огородной, относящихся к семейству Крестоцветных. Поглощение цинка в вегетативные органы лучше всего наблюдается у капусты огородной. Накопление кадмия происходит лучше у овса посевного. В целом, согласно общепринятым критериям ни одно из исследуемых растений не проявило себя как гипераккумулятор по отношению к меди, цинку и кадмию. Однако для некоторых растений в отношении отдельных металлов расчетные коэффициенты передвижения оказались выше единицы, что свидетельствует о существовании у них фиторемедиационного потенциала при определенном уровне антропогенной нагрузки.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фиторемедиация почв с помощью растений, как биологический метод очистки почвы от поллютантов, является одним из самых молодых и мало используемых на территории Российской Федерации. По мнению многих авторов, данный метод намного экономически выгоден, чем применение традиционных методов очистки почв, а также прост в практическом применении. Вместе с этими аспектами требуется поиск «особых» растений способных аккумулировать загрязнители и, конечно же, подготовка кадров, которые смогут работать не только на промышленных и сельскохозяйственных, загрязненных тяжелыми металлами землях, но и в городской среде, способствуя восстановлению почв в городских агломерациях и расширению рекреационной устойчивости культуроценозов.

Высокая научно-практическая значимость данного исследования заключается в том, что нами были отобраны методики анализа почвы и фиторемедиационного потенциала растений в ходе проведения факультатива со старшеклассниками на базе инновационной площадки ПАО «Комбинат Магнезит» (г. Сатка). Формирование мотивационного интереса и профессиональная ориентация – это приоритетные направления социальной работы комбината, как и благоприятная экологическая обстановка его окрестностей.

Опираясь на тему исследования, актуальности данного исследования для города Сатки была сформулирована цель, которая заключается в изучение эффективности фиторемедиации почвы различными видами растений при проведении факультатива на базе инновационной площадки ПАО «Комбинат «Магнезит».

В теоретической части рассматривается значение данного метода для очистки различных сред, стратегии использования растений для «извлечения» тяжелых металлов, свойства, характерные

гипераккумулянтам, этапы и виды фиторемедиации, накопление и распределение тяжелых металлов в растениях, эколого-экономические составляющие метода. Так же подробно рассматриваются основные отрасли промышленности, приводящие к перенасыщению почвы тяжелыми металлами. Исходя из этого, можно сделать вывод, что неграмотность населения в экологических вопросах пагубно влияет не только на природу, но и на здоровье самого человека. Чтобы этого избежать необходимо у подрастающего поколения формировать экологически ориентированное сознание.

Важным аспектом в цепи непрерывного экологического образования выступает потенциал дисциплин естественно-технологического цикла для проведения исследований в области фиторемедиации. На дисциплинах естественно-технологического цикла в школе ее можно использовать при оценке характера загрязнения, разработке оптимальной схемы фиторемедиации, выращивании растений, мониторинге участка.

Для более глубокого изучения технологии фиторемедиации необходимо использовать внеурочное время. Исходя из этого, нами был разработан факультатив по фиторемедиации для проведения исследовательской деятельности школьников на базе инновационной площадки ПАО «Комбинат «Магnezит».

В педагогическом эксперименте приняли участие ученики 9 и 10 классов МОУ «СОШ № 14», в которых реализуется интегрированная образовательная программа, предполагающая освоение обучающимися ООП СОО и ОППО по согласованным профессиям рабочих, востребованных на градообразующем предприятии ПАО «Комбинат «Магnezит», была разработана рабочая программа факультативного курса по фиторемедиации почв. В ходе данного курса были проведены исследования по вопросам фиторемедиации почв.

Программа педагогического эксперимента заключалась в проведении факультатива по фиторемедиации. Разработанный нами факультативный

курс был запрошен заказчиком ПАО «Комбинат «Магnezит» для подготовки кадров. Данный курс мы реализовывали во внеурочное время по рабочей программе, представленной в Приложении 1.

Для проведения исследования нами были выбраны следующие объекты: серая лесная почва, взятая на территории ПАО «Комбинат «Магnezит» (на расстоянии 3 км от предприятия), а также чернозем типичный, взятый на территории рп. Межевой на садово-огородном участке. В качестве исследуемых видов растений были выбраны такие гипераккумуляторы тяжелых металлов, как *Hordeum vulgare* L. (Ячмень обыкновенный), *Avena sativa* L. (Овес посевной), *Sinapis alba* L. (Горчица белая), *Brassica oleracea* L. (Капуста огородная). В качестве поллютантов были выбраны кадмий, цинк и медь. Исследования проводились на базе Водной лаборатории ПАО «Комбинат «Магnezит». Измерение содержания тяжелых металлов в почвенных образцах, а также в растениях проводилось атомно-абсорбционным методом на спектрофотометре «Спираль-17».

В итоге проведения исследовательской работы со школьниками при реализации факультатива мы получили следующие результаты:

- серые лесные почвы, взятые на достаточно загрязненной территории, в результате деятельности ПАО «Комбинат «Магnezит» по валовому содержанию меди и цинка превышают значения ПДК, валовое содержание кадмия находится в пределах ПДК. Чернозем типичный, взятый в экологически чистом п. Межевой Саткинского района, по валовому содержанию цинка превышает значения ПДК. Содержание меди и кадмия находится в пределах ПДК. На основании геохимического показателя исследуемые почвы по уровню загрязнения отнесены к категории не опасных;

- установлено, что исследуемые виды растений накапливают тяжелые металлы в неодинаковых количествах: у семейства Крестоцветных преимущественно аккумулируется медь, у семейства Злаки

– кадмий. Аккумуляция цинка лучше всего происходит у капусты огородной;

– изучение накопления тяжелых металлов в органах исследуемых растений показало, что цинк преимущественно аккумулируется в побегах растений, а медь и кадмий – в корнях;

– среди исследуемых видов растений гипераккумуляторов не отмечено, так как во всех случаях коэффициент биологического накопления меньше единицы.

Данное исследование может быть продолжено в направлении поиска растений, отвечающих всем необходимым признакам гипераккумуляторов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Андреева, И. В. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами [Текст] / И. В. Андреева, Р. Ф. Байбеков, М. В. Злобина // Природообустройство. – 2009. – № 5. – С. 5–10.
2. Бабаев, Э. Р. Фитоэкстракция тяжелых металлов из нефтезагрязненных почв Апшеронского полуострова [Текст] / Э. Р. Бабаев, Э. М. Мовсумзаде // НефтеГазоХимия. – 2016. – № 3. – С. 27–30.
3. Басов, Ю. В. Агроэкологические аспекты рекультивации нарушенных земель [Текст] / Ю. В. Басов // Вестник аграрной науки. – 2018. – № 2 (71). – С. 29–38.
4. Белоус, Н. М. Эффективность и экологически безопасное применение органических удобрений [Текст] / Н. М. Белоус // Химия в сельском хозяйстве. – 1996. – № 3. – С. 10–11.
5. Битюцкий, Н. П. Минеральное питание растений [Текст] / Н. П. Битюцкий // Санкт-Петербург : Изд-во С.-Петербур. ун-та. – 2014. – С. 539.
6. Бойкова, О. И. Исследовательская деятельность школьников в ходе изучения химического состава почвы на факультативных занятиях по химии [Текст] / О. И. Бойкова, Н. Н. Жуков, О. С. Половецкая // Научные исследования и разработки в эпоху глобализации. – 2016. – С. 21–24.
7. Бородкина, Р. А. Оценка транслокации тяжелых металлов в системе почва-растение [Текст] / Р. А. Бородкина, А. Д. Позднякова // Вестник Государственного аграрного университета Северного Зауралья. – 2017. – № 1 (36). – С. 11–16.
8. Бреус, И. П. Миграция тяжелых металлов с инфильтрационными водами в основных типах почв Среднего Поволжья [Текст] / И. П. Бреус, Г. Р. Садриева // Агрохимия. – 1997. – № 6. – С. 56–64.

9. Васильева, Т. Н. Фиторемедиаторы территории городской агломерации [Текст] / Т. Н. Васильева // Бюллетень Оренбургского научного центра УрО РАН. – 2014. – № 2. – С. 8–12.

10. Ветрова, О. А. Особенности поступления тяжелых металлов в растения земляники садовой в условиях техногенного загрязнения [Текст] : автореферат дис. ... канд. сельскохозяйственных наук : 06.01.08 / Ветрова Оксана Альфредовна. – Мичуринск, 2015. – 22 с.

11. Вовк, Е. В. Специфика организации проектной и исследовательской деятельности младших школьников в условиях модернизации системы образования [Текст] / Е. В. Вовк, Е. Ю. Пономарева, Е. В. Везетиу // Ялта. – 2017. – № 3. – С. 91–129.

12. Водяницкий, Ю. Н. Формулы оценки суммарного загрязнения почв тяжелыми металлами и металлоидами [Текст] / Ю. Н. Водяницкий // Почвоведение. – 2010. – № 10. – С. 1276–1280.

13. Войтюк, Е. А. Аккумуляция тяжелых металлов в почве и растениях в условиях городской среды (на примере г. Чита) [Текст] : автореф. дис. ...канд. биол. наук : 03.02.08 / Войтюк Екатерина Александровна. – Чита, 2011. – 22 с.

14. Высоцкая, Е. А. Теоретико-методологические подходы к изучению биологической продуктивности системы почва-агрофит при влиянии тяжелых металлов на процессы в агроценозе [Текст] / Е. А. Высоцкая // Актуальные вопросы современной науки. – 2012. – № 24. – С. 146–154.

15. Галиев, Р. А. Фиторемедиация нефтешлама [Текст] : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.07 / Галиев Ринат Александрович. – Казань, 2007. – 19 с.

16. Галичин, А. М. Комплексный доклад о состоянии окружающей среды Челябинской области в 2011 году [Текст] : монография / А.М. Галичин. – Челябинск, 2012. – 184 с.

17. Гальченко, С. В. Оценка уровня и степени опасности загрязнения тяжелыми металлами поверхностного слоя почв города Рязани [Текст] / С. В. Гальченко, А. А. Ляпкало, А. В. Федоренко, А. М. Цурган // Российский медико-биологический вестник имени академика И. П. Павлова. – 2001. – № 3–4. – С. 138–143.

18. Гальченко, С. В. Фиторемедиация городских почв, загрязненных тяжелыми металлами, декоративными цветочными культурами [Текст] / С. В. Гальченко, Ю. А. Можайский, Т. М. Гусева, А. С. Чердакова // Вестник Рязанского государственного университета им. С. А. Есенина. – 2015. – № 4 (49). – С. 144–153.

19. ГОСТ 17.4.4.02—2017. Охрана природы (ССОП). Почвы. Методы отбора и подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа : дата введения 2019-01-01 / Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 30 ноября 2017 г. N 52). – Изд. официальное. – Москва : Стандартинформ, 2018. – 10 с.

20. Денисов, В. В. Промышленная экология [Текст] : учеб. пособие / В. В. Денисов. – Ростов-на-Дону : Изд-во «Март», 2009. – 720 с. – ISBN 978-5-241-00781-0.

21. Добровольский, В. В. Ландшафтно-геохимические критерии оценки загрязнения почвенного покрова тяжелыми металлами [Текст] / В. В. Добровольский // Почвоведение. – 1999. – № 5. – С. 639–645.

22. Дроздова, А. М. Анализ эколого-токсикологической характеристики почв Брянской области на содержание кадмия [Текст] / А. М. Дроздова, В. В. Степкина, Е. В. Ноздрачева // Ученые записки Брянского Государственного университета. – 2017. – № 2 (6). – С. 36–40.

23. Жученкомл, А. А. Генетические ресурсы и генетическая модификация растений как факторы изменений среды обитания человека [Текст] / А. А. Жученкомл, Ю. В. Чесноков // Биосфера. – 2012. – Т. 4, № 2. – С. 150–157.

24. Завалин, С. И. Тяжелые металлы в почвах средней тайги Западно-Сибирской низменности [Текст] / С. И. Завалин // Агрохим. вестник. – 2005. – № 1. – 26 с.

25. Захарул, И. Влияние применения азота, молибдена и цинка на засухоустойчивость яровой пшеницы [Текст] / И. Захарул, И. В. Верниченко, Л. В. Обуховская и др. // Докл. РАСХН. – 1999. – № 2. – С. 17–19.

26. Злобина, М. В. Изучение ремедиационного потенциала сельскохозяйственных, дикорастущих и декоративных растений [Текст] : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.13 / Злобина Мария Владимировна. – Москва, 2010. – 20 с.

27. Зубков, Н. В. Влияние фосфорных удобрений на содержание тяжелых металлов в почве, поступление их в растения и продуктивность культур в условиях загрязнения почвы [Текст] / Н. В. Зубков // Вестник Московского городского педагогического университета. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 2 (8). – С. 71–84.

28. Ильин, В. Б. Тяжелые металлы и неметаллы в системе почва – растения [Текст] : монография / В. Б. Ильин ; отв. ред. А. И. Сысо ; Российская акад. наук, Сибирское отд-ние, Ин-т почвоведения и агрохимии. – Новосибирск : Изд-во СОРАН, 2012. – 218 с. : ил.

29. Казнина, Н. М. Влияние кадмия на физиологические процессы и продуктивность растений семейства Роасеае [Текст] / Н. М. Казнина, А. Ф. Титов // Успехи современной биологии. – 2013. – Т. 133, № 6. – С. 588–603.

30. Колесников, В. А. К вопросу об экологической токсикации [Текст] / В. А. Колесников, Т. К. Гриценко, В. В. Матюшев // Вестник КрасГАУ. – 2004. – № 4. – С. 130–134.

31. Конарбаева, Г. А. Содержание и распределение тяжелых металлов в серой лесной почве и специфика их поступления в растения

[Текст] / Г. А. Конарбаева, В. Н. Якименко // Живые и биокосные системы. – 2017. – № 19. – С. 4.

32. Копылова, Л. В. Фолиарное поступление тяжелых металлов в древесные растения [Текст] / Л. В. Копылова // Вестник Государственного Красноярского аграрного университета. – 2013. – № 12 (87). – С. 126–133.

33. Крайнева, С. В. Миграция тяжелых металлов в системе «почва-корма-вода-стельная корова-молозиво» на территории Южного Урала [Текст] : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.16 / Крайнева Светлана Васильевна. – Красноярск, 2009. – 19 с.

34. Крамарев, С. М. Рассмотрение экологического вопроса рекультивации техногенно-загрязненных тяжелыми металлами почв при изучении курса химии в технических вузах [Текст] / С. М. Крамарев, Т. Ф. Яковишина, В. М. Крамарева // Теория и методика обучения фундаментальным дисциплинам в высшей школе. – 2003. – Т. 1, № 1 (1). – С. 295–299.

35. Крапивин, Б. Д. Роль тьютора в экологическом образовании школьников [Текст] / Б. Д. Крапивин // Крымская инициатива – экологическая безопасность регионов: концептуально-теоретические, практические, природоохранные и мировоззренческие аспекты : сб. науч. тр. – Симферополь : Изд. : ООО «Эльиньо». – 2017. – С. 43–48.

36. Линдман, А. В. Мониторинг и фитоочистка родниковых сообществ, загрязненных тяжелыми металлами в результате чрезвычайных ситуаций [Текст] / А. В. Линдман, А. П. Куприяновская // Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях. – 2015. – № 2. – С. 68–73.

37. Лянгузова, И. В. Толерантность компонентов лесных экосистем севера России к аэротехногенному загрязнению [Текст] : автореф. дис. ... д-р биол. наук : 03.02.08 / Лянгузова Ирина Владимировна. – Санкт-Петербург, 2010. – 39 с.

38. Маджугина, Ю. Г. Исследование способности вейника наземного аккумулировать тяжелые металлы с целью разработки технологий фиторемедиации [Текст] : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.00.12 / Маджугина Юлия Григорьевна. – Москва, 2008. – 25 с.
39. Мартьянычев, А. В. Применение фиторемедиации почв для очистки земель сельскохозяйственного назначения [Текст] / А. В. Мартьянычев // Вестник НГИЭИ. – 2012. – № 10 (17). – С. 56–63.
40. Метаболизм антропогенных токсикантов в высших растениях [Текст] : учеб. пособие / Г. И. Квеситадзе, Г. А. Хатисашвили, Т. А. Садунишвили, З. Г. Евстигнеева. – Москва : Наука, 2005. – 199 с.
41. Митрохин, О. В. Оценка транслокального загрязнения как составная часть социальногигиенического мониторинга [Текст] / О. В. Митрохин // Здоровье населения и среда обитания. – 2001. – № 9. – С. 11–14.
42. Михайлова, Е. И. Влияние различных доз кадмия и меди на активность почвенных ферментов урбанозема [Текст] : обзорная статья / Е. И. Михайлова // Теория и практика современной науки. – 2017. – № 1 (19). – С. 701–712.
43. Морозова, М. А. Фиторемедиация как метод очистки почв [Текст] / М. А. Морозова // Academy. – 2018. – Т. 1, № 6 (33). – С. 104–106.
44. Морозова, Н. А. Эколого-биогеохимические особенности промышленных и рекреационных зон г. Самары [Текст] : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.02.08 / Морозова Наталья Андреевна. – Тольятти, 2011. – 18 с.
45. Мосина, Л. В. Фиторемедиация почв, загрязненных тяжелыми металлами (на примере полигона ТБО «Саларьево») [Текст] / Л. В. Мосина, Ю. А. Жандарова // Экология промышленного производства. – 2018. – № 2 (102). – С. 74–77.
46. Наволокина, А. С. Методы фиторемедиации для преподавания дисциплин естественно-технологического цикла в школе [Текст] /

А. С. Наволокина, А. И. Агапов // Актуальные проблемы биологической и химической экологии : сб. науч. тр. / Московский Государственный областной университет. – Москва, 2019. – С. 374–377.

47. Наволокина, А. С. Тьюторское сопровождение проектной деятельности школьников при исследовании фиторемедиации [Текст] / А. С. Наволокина // Тьюторское сопровождение в системе общего, дополнительного и профессионального образования : сб. науч. тр. / Южно-Уральский Государственный гуманитарно-педагогический университет. – Челябинск, 2019. – С. 203–206.

48. Ольшанская, Л. Н. Влияние меди и свинца на развитие высших растений и фиторемедиацию почвы [Текст] / Л. Н. Ольшанская, А. С. Халиева, О. В. Титоренко, Н. А. Ефремова // Известия высших учебных заведений. Серия: химия и химическая технология. – 2013. – Т. 56, № 4. – С. 127–130.

49. Подколзин, О. А. Тяжелые металлы в агроценозах Ставропольского края [Текст] / О. А. Подколзин // Агрехимический вестник. – 2005. – № 5. – 9 с.

50. Прасад, М. Н. Практическое использование растений для восстановления экосистем, загрязненных металлами [Текст] / М. Н. Прасад // Физиология растений. – 2003. – Т. 50, № 5. – С. 764–780.

51. Роль естественно-математических и технологических предметов в формировании профессиональных знаний [Текст] : материалы заочной региональной научно-практической конференции / под ред. Т. В. Уткиной. – Челябинск : ЧИППКРО, 2015. – 440 с.

52. Савочкин, Ю. В. Морфофизиологические особенности развития семян сосны обыкновенной в условиях хронического действия ионов цинка [Текст] : автореф. дис. ... канд. биол. наук : 03.01.05 / Савочкин Юрий Валерьевич. – Москва, 2012. – 25 с.

53. Склярова, А. А. О возможности применения метода фиторемедиации для почв сельскохозяйственного назначения,

загрязненных тяжелыми металлами, применительно к почвам Октябрьского района [Текст] / А. А. Склярова, М. И. Задера // Молодая наука аграрного Дона: традиции, опыт, инновации. – 2018. – Т. 2, № 2. – С. 102–105.

54. Суюндуков, Я. Т. Тяжелые металлы в почвенно-растительном покрове Башкирского Зауралья в условия техногенеза [Текст] / Я. Т. Суюндуков, А. Ю. Кулагин, Ю. А. Шагиева и др. // Аграрная Россия. – 2007. – № 5. – С. 50.

55. Титов, А. Ф. Физиологические основы устойчивости растений к тяжелым металлам [Текст] : учеб. пособие / А. Ф. Титов, В. В. Таланова, Н. М. Казнина. – Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2011. – 77 с.

56. Устойчивость растений к тяжелым металлам [Текст] : учеб. пособие / А. Ф. Титов и др. ; отв. ред. Н. Н. Немова ; Петрозаводск : Карельский научный центр РАН, 2007. – 172 с.

57. Фатина, П. Н. Фиторемедиация – эффективный и экономичный метод очистки почвы, загрязненной нефтью и нефтепродуктами [Текст] / П. Н. Фатина, И. В. Лапаева, Е. А. Давыдова // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. – 2008. – № 5. – С. 75–78.

58. Шевченко, И. А. Состояние проблемы изучения почв в теории и практике географического образования и воспитания [Текст] / И. А. Шевченко, Е. Г. Зимовец, Ю. В. Давыдова, А. В. Бикмаева, А. А. Бурлака, И. А. Горшкова // Современные проблемы науки и образования. – 2019. – № 3. – С. 89.

59. Янкевич, М. И. Биоремедиация почв: вчера, сегодня, завтра [Текст] / М. И. Янкевич, В. В. Хадеева, В. П. Мурыгина // Биосфера. – 2015. – Т. 7. – № 2. – С. 199–208.

60. Dickinson N. Phytoremediation [Текст] / N. Dickinson // Encyclopedia of Applied Plant Sciences / Dickinson., 2017. – С. 327–331.

61. Marschner, H. Mineral nutrition of higher plants, 2nd edn [Текст] / H. Marschner // Academic Press, London. – 1995. – P. 889.
62. Salt, D. E. Phytoremediation [Текст] / D. E. Salt, R. D. Smith, I. Raskin // Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. – 1998. – Vol. 49. – P. 643–668.
63. Smith, K. A. Manganese and cobalt; in B.J. Alloway (ed), Heavy metals in soils, 2nd edn [Текст] / K. A. Smith, J. E. Paterson // Blackie Academic and Professional, London. – 1995. – Chapter 10. – P. 225–244.

ПРИЛОЖЕНИЯ

ПРИЛОЖЕНИЕ 1

Рабочая программа факультативного курса «Фиторемедиация почв
Саткинского района»

Приложение
к ООП СОО МОУ «СОШ №14»

1. Пояснительная записка

Рабочая программа по учебному факультативному курсу «Фиторемедиация почв Саткинского района» разработана в соответствии с современной нормативной правовой базой в области образования:

– закон РФ «Об образовании в Российской Федерации» № 273-ФЗ от 29.12.2012;

– Примерная основная образовательная программа основного общего образования, одобренная решением федерального учебно-методического объединения по общему образованию (протокол от 8 апреля 2015 г. № 1/15).

Основное общее образование является второй ступенью общего образования. Одной из важнейших задач этого этапа является подготовка обучающихся к осознанному и ответственному выбору жизненного и профессионального пути. Обучающиеся должны научиться самостоятельно ставить цели и определять пути их достижения, использовать приобретенный в школе опыт деятельности в реальной жизни, за рамками учебного процесса.

Цель: формирование у школьников современных представлений и знаний о направленных экологически безопасных биотехнологических процессах, связанных с очисткой окружающей среды от техногенных загрязнений, деградацией различного характера загрязнений.

Задачи:

- сформировать системное представление о новейших технологиях, биотехнологических процессах и системах, ориентированных на защиту окружающей среды и рациональное природопользование;
- дать представление о факторах, влияющих на процессы биодegradации и технологиях фиторемедиации;
- систематизировать знания о современных методах очистки промышленных и природных загрязненных водных сред, фиторемедиации почв.

2. Планируемые результаты освоения курса

Целью факультативного курса является получение и закрепление теоретических знаний и приобретение практических умений и навыков:

➤ личностных:

- чувство гордости и уважения к истории и достижениям в области фиторемедиации; грамотное поведение в профессиональной деятельности и в быту при обращении с химическими веществами, материалами и процессами в ходе анализа и исследования почв;

- готовность к продолжению образования и повышения квалификации в области изучения фиторемедиации и объективное осознание роли фиторемедиационных компетенций в этом;

- умение использовать достижения по вопросам фиторемедиации для повышения собственного интеллектуального развития;

- воспитание необходимых качеств для работы: внимательность, добросовестность, наблюдательность, аккуратность, умение рационально и правильно использовать время, экономить реактивы; соблюдать основные правила техники безопасности при работе в лаборатории;

➤ метапредметных:

- использование различных видов познавательной деятельности и основных интеллектуальных операций (постановки задачи, формулирования гипотез, анализа и синтеза, сравнения, обобщения,

систематизации, выявления причинно-следственных связей, поиска аналогов, формулирования выводов) для решения поставленной задачи;

– применение основных методов познания (наблюдения, научного эксперимента) для изучения различных сторон фиторемедиации и вопросов, с которыми возникает необходимость сталкиваться в профессиональной сфере;

– использование различных источников для получения информации, умение оценить ее достоверность для достижения хороших результатов в профессиональной сфере;

➤ предметных:

– сформированность представлений о месте фиторемедиации в современной научной картине мира; понимание роли фиторемедиации в формировании кругозора и функциональной грамотности человека для решения практических задач;

– владение основными методами научного познания, используемыми при проведении фиторемедиации: наблюдением, описанием, измерением, экспериментом; умение обрабатывать, объяснять результаты проведенных опытов и делать выводы; готовность и способность применять методы познания при решении практических задач;

– сформированность умения давать количественные оценки и производить расчеты по формулам и уравнениям;

– владение правилами техники безопасности при использовании химических веществ;

– сформированность собственной позиции по отношению к фиторемедиации, получаемой из разных источников.

3. Содержание учебного курса

1) Введение. Понятие фиторемедиации (4 часа). Общие основы фиторемедиации. Фитоэкстракция или фитоаккумуляция. Фитотрансформация или фитодеградация. Фитостабилизация.

Фитодегградация или ризодеградация. Ризофилтрация. Основные виды растений, используемые для фиторемедиации загрязненных субстратов. Детоксикационный потенциал растений. Принципы подбора ассортимента трав, древесных и кустарниковых пород.

2) Фиторемедиация почв, загрязненных стойкими органическими соединениями и тяжелыми металлами (2 часа). Загрязнение почв стойкими органическими соединениями и тяжелыми металлами. Рациональное комплексирование методов очистки грунтов от загрязнений. Биологическая очистка радиоактивных отходов.

3) Фиторемедиация нефтезагрязненных сред (3 часа). Проблема загрязнения окружающей среды нефтепродуктами. Состав и общая токсичность нефти. Формы нахождения, распределение и трансформация нефти в почвах. Способность почв к самоочищению от нефтяного загрязнения. Фиторемедиация как основа восстановления нефтезагрязненных почв.

4) Методики проведения фиторемедиации почв (23 часа). Отбор проб почвы. Определение валовых и подвижных форм тяжелых металлов в почве. Определение степени опасности загрязнения почв. Определение фиторемедиационного потенциала растений.

5) Проблемы и перспективы фиторемедиации окружающей среды (3 часа). Перспективные технологии получения экологически безопасных биопластиков, биodeградируемых пленок и оболочек. Негативные последствия накопления синтетических полимерных материалов. Масштабы производства и сферы применения.

4. Тематическое планирование

Таблица 1.1 – Тематическое планирование факультативного курса

№ урока	Тема урока Учебно-исследовательская деятельность
1	2
Введение. Понятие фиторемедиации (4 часа)	
1	Общие основы фиторемедиации. Фитоэкстракция или фитоаккумуляция
2	Фитотрансформация или фитодеградация. Фитостабилизация. Фитодеградация или ризодеградация. Ризофльтрация
3	Оценка экологической ситуации в Саткинском районе. Источники поступления загрязнителей в почвы
4	Основные виды растений, используемые для фиторемедиации загрязненных субстратов. Детоксикационный потенциал растений. Принципы подбора ассортимента трав, древесных и кустарниковых пород
Фиторемедиация почв, загрязненных стойкими органическими соединениями и тяжелыми металлами (2 часа)	
5	Загрязнение почв стойкими органическими соединениями и тяжелыми металлами
6	Рациональное комплексирование методов очистки грунтов от загрязнений. Биологическая очистка радиоактивных отходов
Фиторемедиация нефтезагрязненных сред (3 часа)	
7	Проблема загрязнения окружающей среды нефтепродуктами. Состав и общая токсичность нефти
8	Формы нахождения, распределение и трансформация нефти в почвах. Способность почв к самоочищению от нефтяного загрязнения. Фиторемедиация как основа восстановления нефтезагрязненных почв
9	Контроль знаний
Методики проведения фиторемедиации почв (23 часа)	
10	Обсуждение объектов и методик анализа. Экскурсия и знакомство с химической лабораторией ПАО «Комбинат «Магнезит». Правила работы на спектрофотометре. Проведение инструктажа безопасности
11	Отбор проб почвы
12	Выбор растений для проведения фиторемедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами. Высадка выбранных растений на загрязненных почвах
13, 14	Определение физико-химических показателей почвы
15, 16	Градуировка прибора. Определение валового содержания меди в почве
17, 18	Градуировка прибора. Определение валового содержания цинка в почве
19, 20	Градуировка прибора. Определение валового содержания кадмия в почве
21, 22	Градуировка прибора. Определение подвижной формы меди в почве

Продолжение таблицы 1.1

1	2
23, 24	Градуировка прибора. Определение подвижной формы цинка в почве
25, 26	Градуировка прибора. Определение подвижной формы кадмия в почве
27	Расчет коэффициентов концентрации и определение опасности загрязнения почв
28	Сбор и подготовка растительной пробы. Подготовка растительной вытяжки для анализа
29	Градуировка прибора. Определение меди в растительных образцах
30	Градуировка прибора. Определение цинка в растительных образцах
31	Градуировка прибора. Определение кадмия в растительных образцах
32	Коэффициенты биологического поглощения и передвижения. Расчеты коэффициентов.
Проблемы и перспективы фиторемедиации окружающей среды (3 часа)	
33	Перспективные технологии получения экологически безопасных биопластиков, биodeградируемых пленок и оболочек.
34	Негативные последствия накопления синтетических полимерных материалов. Масштабы производства и сферы применения.
35	Итоговый контроль