

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Некоммерческое акционерное общество «Казахский национальный  
исследовательский технический университет имени К.И.Сатпаева»

Институт геологии и нефтегазового дела им. К.Турысова  
Кафедра «Химическая и биохимическая инженерия»

Касым Алуа Максатқызы

Фиторемедиация тяжелых металлов

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

Специальность 6В05101 – Химическая и биохимическая инженерия

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН  
Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К. И. Сатпаева

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра «Химической и биохимической инженерии»



**ДОПУЩЕН К ЗАЩИТЕ**

Заведующий кафедрой «Химическая и биохимическая инженерия», Доктор Ph.D.

А. А. Амитова

«08» 06 2023 г.

**ДИПЛОМНАЯ РАБОТА**

На тему: «Фиторемедиация тяжелых металлов »

по специальности 6В05101 – «Химическая и биохимическая инженерия»

Выполнил

Касым А.М.

Рецензент

Научный руководитель

Доктор Ph.D., профессор  
Кафедры «технология и безопасность  
Пищевых продуктов» КазНАИУ

 Исакова К. М.

«08» июня 2023 г.

Доктор биологических наук,  
ассоциированный профессор

 Анапияев Б.Б.

«08» июня 2023 г.

Алматы 2023

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

Казахский национальный исследовательский технический университет имени  
К. И. Сатпаева

Институт геологии и нефтегазового дела им. К. Турысова

Кафедра «Химической и биохимической инженерии»

6B05101 – «Химическая и биохимическая инженерия»

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой «Химическая и  
биохимическая инженерия», Доктор Ph.D.

А. А. Амитова

«04» июня 2023 г.

**ЗАДАНИЕ**

**На выполнение дипломной работы**

Обучающейся Касым Алуа Максатқызы

Тема: «Фиторемедиация тяжелых металлов»

Утверждена приказом Директора Института № 408 от 23.11.2022

Срок сдачи дипломной работы 14.06.2023

Исходные данные к дипломной работе: Институт Биологии и Биотехнологии растений

Краткое содержание дипломной работы:

- а) Введение: обосновывается актуальность работы, научная и практическая значимость, изложена цель и задачи исследований.
- б) Объект и методы исследований: дана характеристика объекту исследования, описаны приемы и методы исследования.
- в) Результаты исследования, заключения и выводы: описаны результаты исследования, даны заключение и выводы.

Перечень графического материала: представлены 10 слайдов презентации работы, Рекомендуемая основная литература состоит из 26 наименований

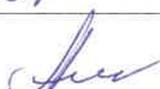
## ГРАФИК

подготовки дипломной работы

Наименование разделов, перечень разрабатываемых вопросов	Сроки представления научному руководителю	Примечание
Введение. Обзор литературы	08.04.2023	выполнено
Материал и методика исследований	04.05.2023	выполнено
Результаты исследования. Заключение и выводы	16.05.2023	выполнено

### Подписи

консультантов и нормоконтролера на законченную дипломную работу (проект) с указанием относящихся к ним разделов работы (проекта)

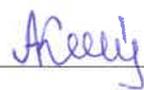
Наименования разделов	Консультанты, И.О.Ф.(уч. степень, звание)	Дата подписания	Подпись
Основная часть	Б. Б. Анапияев, д.б.н., ассоц. профессор	07.06.2023	
Материалы и методика исследований	Б. Б. Анапияев, д.б.н., ассоц. профессор	07.06.2023	
Нормоконтролер	Б. Б. Анапияев, д.б.н., ассоц. профессор	07.06.2023	

Научный руководитель



Б. Б. Анапияев

Задание принял к исполнению обучающийся



Касым А.М.

Дата

« 07 » Июня 2023 г.

## **АННОТАЦИЯ**

Дипломная работа посвящена изучению воздействия сульфата цинка на сахарное сорго и пшеницу, на рост и развитие растений, а также изучение их способности к гипераккумуляции. В ходе эксперимента было выявлено значительное игнорирование процессов роста и развития пшеницы и сахарного сорго по влиянием цинка. Также исследования показали что более высокую устойчивость к действию цинка проявляет сахарное сорго, которое рекомендуется нами для использования в фиторемедиации, очистки загрязнённых тяжелыми металлами почв.

## АҢДАТПА

Дипломдық жұмыс мырыш сульфатының қант соргосы мен бидайға, өсімдіктердің өсуі мен дамуына әсерін зерттеуге, сондай-ақ олардың гипераккумуляцияға қабілеттілігін зерттеуге арналған. Эксперимент барысында мырыштың ықпалы бойынша бидай мен қант соргосының өсу және даму процестерін елемеу анықталды. Сондай-ақ зерттеулер мырыштың әсеріне жоғары төзімділік көрсетіп отырғанын көрсетті, оны біз фиторемедиацияда пайдалану, ауыр металдармен ластанған топырақты тазалау үшін ұсынамыз.

## **ABSTRACT**

The thesis is devoted to the study of the effect of zinc sulfate on sugar sorghum and wheat, on the growth and development of plants, as well as the study of their ability to hyperaccumulation. The experiment revealed a significant neglect of the growth and development processes of wheat and sugar sorghum under the influence of zinc. Also studies have shown that higher resistance to the action of zinc shows sugar sorghum, which we recommend for use in phytoremediation, treatment of soils contaminated with heavy metals.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	5
1. Фиторемедиация	6
2. Источники загрязнения	8
2.1. Поступление тяжелых металлов из атмосферы	8
2.2. Поступление тяжелых металлов в почву из удобрений	9
2.3. Поступление тяжелых металлов в почву с пестицидами	9
2.4. Тяжелые металлы, попадающие в почву с осадком сточных вод, сточными водами и бытовыми отходами	9
2.5. Тяжелые металлы, попадающие в почву с промышленными отходами	10
2.6. Цинк в почве	11
2.7. Фитотоксичность тяжелых металлов	11
2.8. Факторы влияющие на поглощение металлов	13
2.9. Критерии накопления металлов в растениях	15
3. Методы очистки	16
3.1. Фитоулетучивание	16
3.2. Фитофльтрация или резофльтрация	16
3.3. Фитостабилизация	17
3.4. Фитоволатизация	18
3.5. Фитодеградация	18
3.6. Фиторпреснение	18
3.7. Фитоэкстракция	19
3.8. Преумущества и недостатки фиторемедиации	20
3.9 Актуальность проблемы и выводы	21
4. Материалы и методы	23
4.1 Методы исследования	24
4.2 Результаты и выводы исследования	27
ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ	28
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ	29

## ВВЕДЕНИЕ

Фиторемедиация является одним из наиболее эффективных методов очистки загрязненных почв от тяжелых металлов и других опасных веществ. Она основана на использовании способности некоторых растений к накоплению и выведению из почвы токсичных веществ. Фиторемедиация может быть использована в качестве альтернативного метода очистки почв, который является более экологически чистым и экономически эффективным, чем традиционные методы.

Актуальность: Фиторемедиация тяжелых металлов является эффективным и экономически выгодным методом очистки окружающей среды благодаря растениям-гипераккумуляторам тяжелых металлов, способным накапливать в своих листьях до 5% никеля, цинка, меди и других тяжелых металлов, что является в 10 раз больше чем могут обычные растения.

Целью данной работы является изучение влияния соли цинка на сахарное сорго и пшеницу, также изучения способности данных растений к гипераккумуляции.

Задачи:

1. Выращивание сахарного сорго и пшеницы на зараженной солью цинка почве
2. Изучение влияния соли цинка на рост растений
3. Практическая оценка полученных результатов

## 1. Фиторемедиация

Окружающая среда загрязнена органическими и неорганическими загрязнителями. Органические загрязнители в основном являются антропогенными и попадают в окружающую среду в различных формах. В последние годы загрязнение почвы токсичными металлами, такими как Cd, Pb, Cr, Zn, Ni и Cu, значительно возросло в связи с глобальной индустриализацией. Существуют некоторые традиционные методы восстановления загрязненных территорий, особенно почв, загрязненных металлами. Несмотря на эффективность, эти методы являются дорогостоящими, трудоемкими и вредными для окружающей среды. Недавно ученые и инженеры разработали фиторемедиацию как экономически эффективную и экологически чистую технологию, которая использует биомассу/микроорганизмы или живые растения для восстановления загрязненных территорий. Ее можно разделить на различные области применения, такие как фитофильтрация, фитостабилизация, фитоэкстракция и фиторемедиация.

Фиторемедиация - это обработка почв, загрязненных тяжелыми металлами, растениями, которые накапливают значительное количество металлов. Это гораздо экологичнее и дешевле, чем технические методы. Фиторемедиация происходит от греческого *phyton* (растение) и латинского *remedium* (средство). Фиторемедиация стала эффективным и экономичным методом восстановления окружающей среды только после открытия растений-гипераккумуляторов, которые способны накапливать в своих листьях до 5% никеля, цинка или меди по сухому весу, то есть в десятки раз больше, чем обычные растения. Биологическое значение этого явления еще не до конца понятно: можно предположить, например, что высокое содержание токсичных элементов защищает растения от вредителей и делает их более устойчивыми к болезням.

Использовать гипераккумуляторы для очистки почвы и воды было предложено еще в начале 1980-х годов. Но до этого было еще далеко, во-первых, потому что биомасса этих растений была небольшой, а во-вторых, потому что не была разработана технология их выращивания.

Тяжелые металлы - одна из самых опасных групп веществ, загрязняющих окружающую среду. Они могут попасть в почву через промышленные отходы, атмосферу, сточные воды, транспортные выбросы, удобрения и пестициды. В высоких концентрациях тяжелые металлы могут накапливаться в почве, растениях и, конечно, в пище человека, вызывая необратимые процессы, негативно влияющие на жизнедеятельность людей.

Многие тяжелые металлы, такие как свинец, не поглощаются растениями даже при высоких концентрациях в почве, поскольку присутствуют в виде плохо растворимых соединений. Поэтому концентрация свинца в растениях обычно не превышает 50 мг/кг, и даже индийская горчица, которая генетически предрасположена к поглощению тяжелых металлов, не поглощает их даже при

высоких концентрациях в почве, поскольку они находятся в виде плохо растворимых соединений.

## **2. Источник загрязнения**

Тяжелые металлы попадают в окружающую среду двумя различными путями - из природных и искусственных источников. Природные источники загрязнения тяжелыми металлами обычно возникают в результате выветривания шахт, которые сами по себе являются рукотворными. Тяжелый металл определяется как любой элемент с металлическими свойствами, такими как плотность, проводимость, стабильность в виде катионов и атомный номер. Загрязнение тяжелыми металлами является одной из наиболее важных экологических проблем во всем мире. Оно происходит в почве, в воде, в живых организмах и на дне отложений. Загрязнение тяжелыми металлами в результате промышленной и горнодобывающей деятельности получило широкое распространение в конце 19-го и начале 20-го веков. Тяжелые металлы, включая Cd, Cu, Cr, Zn, Ni и Pb как основные загрязнители, оказывают негативное воздействие на окружающую среду, особенно в высоких концентрациях в районах с сильной антропогенной активностью. Хотя они являются естественными компонентами земной коры, биохимический эквивалент и геохимические циклы тяжелых металлов были значительно изменены в результате деятельности человека. Эти металлы просто переходят из одной формы в другую из-за их неспособности распадаться естественным образом. Тяжелые металлы, а именно Cu, Fe, Zn, Mo и Mn, являются микроэлементами и считаются необходимыми для поддержания жизни в биологических системах. Однако при высоких концентрациях эти металлы становятся высокотоксичными и угрожают здоровью животных и человека, влияя на урожай, качество воды и атмосферы. Тяжелые металлы Cd, Cu, Ni и Hg являются более фитотоксичными, чем Zn и Pb. Загрязнение почвы - это критическая проблема, которая привлекает значительное внимание общественности в течение последних нескольких десятилетий. Большая часть земли стала небезопасной и непригодной для жизни людей и животных из-за обширного загрязнения.

### **2.1 Поступление тяжелых металлов из атмосферы**

На присутствие различных элементов в почве большое влияние оказывает атмосфера. Давно известно, что в морском климате элементы, переносимые атмосферой из морской воды, такие как йод, присутствуют в почве. Элементы, выбрасываемые в атмосферу через дымовые трубы предприятий химической, тяжелой и атомной промышленности, оказывают заметное влияние на окружающую среду. Их воздействие распространяется на десятки тысяч километров от источника попадания элементов в атмосферу.

Тяжелые металлы (кроме ртути) в основном выбрасываются в атмосферу в виде аэрозолей, которые имеют большое значение в химическом загрязнении воздуха. Осадки, выпадающие на землю, могут содержать свинец, кадмий, мышьяк, ртуть, хром, никель, цинк и другие элементы.

## **2.2 Поступление тяжелых металлов в почву из удобрений**

Использование минеральных удобрений направлено на увеличение содержания в почве всех питательных веществ для растений. Фермеры имеют дело с различными искусственными и естественными источниками этих элементов. Главное требование к ним - хорошая растворимость.

Тяжелые металлы в минеральных удобрениях являются естественными примесями в сельскохозяйственных удобрениях. Поэтому их количество в минеральных удобрениях зависит от исходного сырья и технологии его переработки. Наиболее значительными как по количеству, так и по концентрации примесей тяжелых металлов являются фосфорные удобрения, а также удобрения, изготовленные с использованием экстракции ортофосфорной кислотой (аммофос, аммофоски, нитрофоски, нитрофоски, двойные суперфосфаты).

## **2.3 Поступление тяжелых металлов в почву с пестицидами**

Пестициды - это различные химические соединения, в основном органические, некоторые из них органо-минеральные или чисто минеральные вещества. Некоторые пестициды содержат тяжелые металлы, такие как ртуть, цинк, медь и железо. Потребление пестицидов в защитных мероприятиях невелико, поэтому они не представляют серьезной угрозы как источник загрязнения почвы тяжелыми металлами, особенно цинком и железом. Основное внимание привлекают только минералорганические соединения ртути, поскольку ртуть попадает в сельскохозяйственные почвы в основном в составе пестицидов, в некоторых видах компоста из бытовых отходов и в осадках сточных вод целлюлозно-бумажных комбинатов, где ртутьсодержащие соединения используются для обработки целлюлозы и защиты ее от грибков.

## **2.4 Тяжелые металлы, попадающие в почву с осадком сточных вод, сточными водами и бытовыми отходами**

При очистке сточных вод в крупных городах и районных центрах с развитой промышленностью образуется большое количество осадка, состоящего из органического вещества с различными минеральными включениями. Органическое вещество в городских сточных водах обладает способностью поглощать из воды катионы тяжелых металлов. Поэтому в процессе транспортировки сточных вод жидкие промышленные стоки, смешиваясь с городскими стоками, в значительной степени очищаются от солей металлов. На очистных сооружениях нерастворимые компоненты сточных вод  
На очистных сооружениях нерастворимые компоненты сточных вод отделяются в специальных отстойниках, а вода поступает в аэротенки, где происходит биологическая очистка в аэробных условиях с помощью

специальной микрофлоры, которая в основном использует для своей жизнедеятельности растворенные в воде органические вещества и питательные вещества. Биомасса микроорганизмов увеличивается, что делает необходимым постоянное удаление их избытка в аэротенках, так называемого активного ила. Часть тяжелых металлов, присутствующих в воде, поступающей в аэротенк после первичных отстойников, переходит в органическое вещество активного ила и удаляется вместе с ним. Активный ил и первичные отстойники могут смешиваться, а затем подаваться на обезвоживание с помощью центрифуг или естественным путем в местах фильтрации.

Таким образом, значительная часть тяжелых металлов в сточных водах удаляется вместе с органическими веществами в стоках и биомассой микроорганизмов в активном иле. После очистки сточных вод образуется большое количество органического вещества, которое содержит богатейшую микрофлору, в том числе патогенные микроорганизмы. Это вещество начинает быстро разлагаться, выделяя неприятные запахи. Оно представляет большую угрозу для окружающей среды и должно быть немедленно обеззаражено и утилизировано. На первый взгляд, логичнее всего использовать осадок сточных вод в качестве органического удобрения, поскольку он содержит большое количество азота и фосфора. Кроме того, по содержанию фосфора осадок сточных вод часто превосходит навоз домашнего скота.

## **2.5 Тяжелые металлы, попадающие в почву с промышленными отходами**

Промышленные отходы, используемые в качестве удобрений, включают шлак, угольную и сланцевую золу, фосфогипс и цементную пыль. Были предприняты попытки переработать промышленные отходы в минеральные удобрения. Особого внимания заслуживает поиск путей переработки серной кислоты, используемой для травления некоторых видов стали. При нейтрализации аммиаком можно получить сульфат аммония. Другой способ использования этой кислоты - нейтрализация ее фосфорной мукой. В этом случае получается продукт, по свойствам похожий на суперфосфат. Фосфогипс - это отход промышленности по производству удобрений, который может быть разумно и экономично использован в сельскохозяйственном производстве. Фосфогипс - продукт фосфорнокислотного процесса, получаемый из апатитового концентрата путем обработки его концентрированной серной кислотой. Гипс является основным соединением, из которого состоит фосфогипс.

$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  или  $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ . Содержание  $\text{CaO}$  в фосфогипсе в пересчете на сухое вещество составляет 39-40%. Он содержит некоторое количество ортофосфорной кислоты, а также  $\text{P}_2\text{O}_5$  в различных соединениях (более 1 % на влажный вес остатка).

## 2.6 Цинк в почве

Цинк - один из первых микроэлементов, признанных необходимыми для минерального питания растений. Он играет ключевую роль в функционировании многих ферментных систем. Цинк контролирует производство важных регуляторов роста, которые стимулируют развитие растений. Дефицит цинка проявляется в интерстициальном хлорозе развивающихся листьев, что придает им полосатый вид. По мере увеличения дефицита цинка рост растений, включая листья, подавляется. В конце концов, листья отмирают и опадают. Во время формирования почвы цинк ( $Zn^{2+}$ ) переходит из цинксодержащих минералов в почвенный раствор и связывается с минеральными и органическими компонентами почвы.

Цинковый купорос (сульфат цинка) - это универсальное минеральное микроудобрение, используемое для всех видов сельскохозяйственных культур. Цинковый купорос используется для повышения плодородия почвы в качестве удобрения, содержащего цинк и серу. В животноводстве его используют в качестве минеральной добавки к корму.

В растениях цинк активизирует действие ферментов, входит в состав ферментных систем, участвующих в дыхании, синтезе белка и ауксина, повышает жаро-, засухо- и холодоустойчивость растений и играет важную роль в регулировании процессов роста. Урожай цинка полевых культур колеблется от 50 г до 2 кг/га.

При внесении в почву сульфат цинка диссоциирует на катион  $Zn^{2+}$  и анион  $SO_4^{2-}$ .

Катион цинка может быть легко поглощен корневой системой растений или адсорбирован глиной и органическим веществом почвы. Существует два различных механизма адсорбции: один в кислой среде и связан с катионным обменом, другой в щелочной среде и считается хемосорбцией.

Образование частиц гидроксида цинка на поверхности глины приводит к сильной зависимости удержания ионов цинка в почве от степени кислотности почвы.

Адсорбция цинка ослабевает при  $pH < 7$  из-за конкурентоспособности других ионов. Это приводит к выщелачиванию цинка из кислых почв.

При повышении pH концентрация органического вещества в почвенном растворе увеличивается. В этом случае органические комплексы цинка связывают ионы цинка. Органическое вещество почвы может связывать цинк в стабильных формах. В этом случае его накопление можно наблюдать в органических горизонтах почвы и торфе.

## 2.7 Фитотоксичность тяжелых металлов

Элементы, входящие в состав растений, можно условно разделить на две группы. К одной относятся структурные элементы, составляющие молекулы

основных органических соединений (белки, глюкоиды, углеводы), а к другой - функциональные элементы. Последние активно участвуют в синтезе структурных соединений, но обычно не входят в их состав. Функциональные элементы обладают высокой биологической активностью, часто являются кофакторами различных ферментов, влияют на проницаемость биомембран и способствуют лучшему перераспределению метаболитов внутри растения.

Количественно минеральные элементы обычно делят на макроэлементы (их содержание в золе измеряется целыми процентами, иногда десятками процентов), микроэлементы (названные так из-за их малого содержания, составляющего сотые или тысячные доли от массы золы), ультрамикроэлементы (содержащиеся в количествах, измеряемых десятками тысяч или даже миллионными долями процента).

Как правило, макроэлементы входят в состав структурных образований. Исключение составляет калий, содержание которого в растении часто превышает содержание других макроэлементов, но в организме он не образует структурных соединений, а выполняет функциональную роль. Все структурные элементы относятся к легкой категории, с относительным атомным весом менее 40.

Микроэлементы в основном являются функциональными элементами, так как входят в состав ферментов, витаминов и других биологически активных веществ. Они катализируют процессы синтеза органических соединений и, как все катализаторы, удовлетворяют потребности организма, поступая в него в небольших количествах. Отсутствие в почве того или иного необходимого растению микроэлемента вызывает серьезное нарушение обмена веществ и приводит к значительному снижению урожайности и качества продукции. Растения, испытывающие недостаток функциональных элементов, часто страдают от различных заболеваний. Установлено, что дефицит железа вызывает хлороз, дефицит меди - белую пятнистость злаков, дефицит молибдена - утомляемость клевера и т.д.

Особое внимание следует уделить ультрамикроэлементам. Это очень токсичные, а иногда и радиоактивные металлы. Несмотря на очень низкое содержание в организме, они могут оказывать существенное влияние на обмен веществ и процессы роста. Их действие может проявляться в стимулировании роста и синтеза определенных органических соединений: углеводов, белков, жиров, пигментов и т.д. Поэтому положительное действие ультрамикроэлементов иногда представляет определенный экономический интерес. Однако наиболее вероятно, что наблюдаемые положительные явления объясняются не биологической потребностью в этих элементах, а стимулирующей интоксикацией организма под действием микродоз ядовитых веществ. Поэтому применение ультрамикроэлементов в практике растениеводства проблематично, так как, используя их в качестве удобрений, очень легко перейти грань положительного действия и получить отрицательный результат. Более того, накопление многих из них в растениях представляет определенную опасность для здоровья человека и животных,

отрицательно сказывается на гигиеническом качестве продукции и вызывает снижение урожайности.

Тяжелые металлы могут быть токсичными для макроорганизмов и микроорганизмов, непосредственно влияя на биохимические и физиологические процессы, снижая рост, де-териотизируя клеточные органеллы и ингибируя фотосинтез. Что касается переноса металлов от корней к воздушным частям растений, некоторые металлы (особенно Pb) имеют тенденцию накапливаться больше в корнях, чем в воздушных частях, из-за некоторых барьеров, препятствующих их переносу. Однако другие металлы, такие как Cd, легко перемещаются в растениях. В целом, все растения способны накапливать необходимые элементы, такие как Cu, Fe, Zn, Ca, K, Mg и Na из почвенных растворов для своего роста и развития. Однако в ходе этого процесса растения также накапливают некоторые несущественные элементы, такие как Cd, As, Cr, Al и Pb, которые не обладают биологической активностью.

## **2.8 Факторы, влияющие на поглощение металлов**

Виды растений: выбираются виды растений с различным потенциалом для различных процессов регенерации. Такие процессы, как ризодеградация, ризофилтрация и фитостабилизация, в основном делают упор на более быстрый рост с точки зрения глубины корней, массы растения на единицу объема, площади поверхности и бокового расширения. Например, *Robinia pseudoacacia* может быть успешно использована в экологических целях для реабилитации стерильных свалок, поскольку она способна извлекать и удалять значительное количество ТМ из стерильного материала. Однако полная фиторемедиация стерильного материала может быть достигнута в течение нескольких лет. Чтобы накапливать загрязняющие вещества, растения должны быть способны накапливать больше, поэтому им необходима большая корневая масса. Растения должны участвовать в быстрой летучести, транспирации, усилении метаболизма и иммобилизации различных металлических загрязнителей. *Rhizobium* должны способствовать росту микроорганизмов, выделяя корневые экссудаты и ферменты. Кроме того, они должны обеспечивать высокую способность к отращиванию, адекватное хранение и транспортировку, повышенную скорость роста и хороший выход биомассы, высокую устойчивость к заболачиванию и устойчивость к высокому рН и засоленности.

рН: Считается одним из наиболее важных аспектов, влияющих на растворимость и удержание ТМ в почве. Более высокий рН приводит к более высокому удержанию и более низкой растворимости, в то время как низкий рН увеличивает доступность водородных ионов. Например, рН сильно влияет на поглощение Pb растениями. Чтобы уменьшить поглощение Pb растениями, рН почвы регулируется известью до 6,5-7,0. Растения могут повысить биодоступность Pb за счет корневых экссудатов, изменяющих рН ризосферы

и повышающих растворимость тяжелых металлов. Затем металл поглощается на поверхности металла и транспортируется в клетки корня через клеточную мембрану, используя апопластический (пассивная диффузия) и симпластический (активная диффузия) пути.

pH и характеристики почвы сильно влияют на растворимость металлов. В кислой и окислительной среде большинство металлов легко подвижны и прочно удерживаются в щелочных и восстановительных условиях. Тяжелые металлы, такие как Pb, Zn, Cd, Cu, Co и Hg, более растворимы при pH 4-5, чем в диапазоне 5-7. Однако некоторые металлы, такие как As, Se и Mo, менее растворимы в кислых условиях из-за своей анионной природы. pH почвы влияет на адсорбцию металлов, а начальная концентрация металла, как сообщается, влияет на адсорбцию металлов и равновесный pH почвы. Применение добавок к загрязненной почве может помочь регулировать pH, в конечном итоге увеличивая десорбцию металлов из почвенных растворов.

Необходимы дальнейшие исследования факторов, участвующих в изменении pH почвы в ризосфере, поскольку это значительно снижает риск выщелачивания загрязняющих веществ в почвенный профиль. Выяснение вовлеченных процессов поможет в документации и, возможно, синтезе новых почвенных и внекорневых удобрений для ускорения процесса фиторемедиации.

Корневая зона: Корневая зона играет важную роль в фиторемедиации, поглощая и метаболизируя загрязняющие вещества в тканях растений или разлагая их путем высвобождения ферментов. Корневая зона играет важную роль в определении скорости восстановления. Например, корневая система лоха имеет множество тонких корней, которые покрывают всю почву и обеспечивают большую площадь поверхности, что увеличивает максимальный контакт с почвой. Аналогичным образом, детоксикация загрязняющих веществ почвы растительными ферментами, выделяемыми корнями, является еще одним механизмом фиторемедиации.

Емкость катионного обмена: СЕС измеряет, сколько катионов может быть удержано на поверхности почвенных частиц или скорость адсорбции между различными металлами на границе раздела почв. Как показали исследования, проведенные научным сообществом, адсорбция кальция снижается при добавлении Pb и Cu.

Добавление хелатирующих агентов: Хелатные агенты увеличивают или ускоряют поглощение МТ, поэтому известно, что они отвечают за индуцированную фиторемедиацию. Хелаты используются для повышения растворимости металлов, что может значительно увеличить накопление металлов в растениях. Добавление хелатов, таких как ЭДТА, в загрязненные свинцом почвы увеличивает их растворимость. На накопление поглощения НМ может влиять постепенное увеличение биоразлагаемых физико-химических свойств, таких как хелатирующие агенты. Однако использование современных синтетических хелатирующих агентов представляет собой серьезный недостаток, поскольку увеличивает риск выщелачивания

загрязняющих веществ в почву. На поглощение ТМ влияет присутствие лигандов и влияние на потенциал выщелачивания металлов ниже корневой зоны.

Температура: Температура почвы является важным фактором, влияющим на накопление металлов растениями. Например, при высокой температуре и низком рН почвы было зафиксировано значительное увеличение содержания кадмия и цинка в побегах шавеля и кукурузы.

## **2.9 Критерии накопления металлов в растениях**

Все виды растений обладают способностью поглощать металлы, но некоторые из них могут накапливать большое количество металлов (в 100 раз больше, чем обычное растение в тех же условиях без проявления негативных эффектов). Древесные или травянистые растения, которые накапливают и переносят тяжелые металлы в количествах, превышающих токсичные уровни в их тканях, известны как гипераккумуляторы. В последние годы исследователи сосредоточились на использовании гипераккумуляторов для рекультивации загрязненных участков из-за их способности поглощать тяжелые металлы из загрязненной почвы и накапливать их в своих побегах. Основными критериями для гипераккумуляторов являются:

- способность к накоплению,
- нагрузочная способность,
- эффективность удаления (RE), основанная на биомассе растения,
- фактор биоконцентрации (BCF)
- фактор переноса (TF).

Способность к накоплению - это естественная способность растений накапливать металлы в своих воздушных частях (пороговая концентрация) в количестве, превышающем 100 мг кг<sup>-1</sup> для Cd, 1000 мг кг<sup>-1</sup> для Cu, Cr, Pb и Co, 10 мг кг<sup>-1</sup> для Hg (Baker et al., 2000) и 10000 мг кг<sup>-1</sup> сухого веса побега для Ni и Zn.

Толерантность - это способность растений расти на загрязненных тяжелыми металлами участках и иметь значительную толерантность к тяжелым металлам без проявления противоположных эффектов, таких как хлороз, некроз, беловато-коричневый цвет или снижение надземной биомассы (или, по крайней мере, без значительного снижения).

Эффективность удаления на основе биомассы растений - это отношение общей концентрации металла в сухой биомассе растений к общей концентрации металла в среде выращивания. Индекс BCF - это отношение концентрации тяжелых металлов в корнях растений к концентрации в почве. Cluis сообщил, что BCF для гипераккумуляторов составляет > 1, а в некоторых случаях может увеличиваться до 100.

### **3. Методы очистки**

Существующие традиционные методы реабилитации почвы и воды, загрязненных тяжелыми металлами, такие как выемка грунта *ex situ*, захоронение верхнего слоя почвы, детоксикация и физико-химическая реабилитация, являются дорогостоящими, трудоемкими, занимают много времени, увеличивают мобилизацию загрязняющих веществ и разрушают биотическую и структурную структуру почвы. Поэтому эти методы ремедиации ни технически, ни экономически не подходят для больших загрязненных территорий. Биоремедиация была разработана как технология разложения загрязняющих веществ до низкотоксичного уровня с помощью микроорганизмов. Однако использование этой технологии для восстановления загрязненных территорий путем применения живых организмов было менее успешным для обширных металлических и органических загрязнителей. Растения способны метаболизировать вещества из природных экосистем.

#### **3.1 Фитоулетучивание**

Фитоулетучивание - это стратегия фиторемедиации, при которой растения поглощают загрязняющие вещества из почвы, преобразуют эти токсичные элементы в менее токсичные летучие формы, а затем выпускают их в атмосферу, когда растения пропускают их через свои листья или листовую систему. Этот подход может быть использован для детоксикации органических загрязнителей и некоторых тяжелых металлов, таких как Se, Hg и As. Например, представители семейства Brassicaceae являются хорошими испарителями Se, такие как *Brassica juncea*. Неорганический Se сначала ассимилируется в органические селеноаминокислоты селеноцистеин (SeCys) и селенометионин (SeMet). SeMet подвергается биометилированию с образованием диметилселенида (DMSe), который является летучим и может рассеиваться в воздухе с меньшей токсичностью, чем неорганический Se. Элементарная форма Hg является жидкой при комнатной температуре и легко улетучивается. Из-за своей высокой реакционной способности после попадания в окружающую среду Hg существует в основном в виде двухвалентного катиона Hg<sup>2+</sup>. После поглощения корнями или листьями метил-Hg превращается в ионную ртуть, которая впоследствии переходит в относительно менее токсичную элементарную форму и улетучивается в атмосферу.

#### **3.2 Фитофльтрация или ризофльтрация**

Фитофльтрация или ризофльтрация - это удаление корнями растений загрязняющих веществ, присутствующих в экстрагированных сточных, поверхностных или грунтовых водах. Потенциал фитофльтрации растений,

выращенных в загрязненной воде с низкой концентрацией Cd, был изучен в гидропонном эксперименте. Сорокапятидневные проростки *L. flava* были пророщены с различными концентрациями Cd (0,5, 1, 2 и 4 мг L<sup>-1</sup>). Концентрация Cd в различных частях растения была самой высокой в корнях, затем в листьях и цветоносах. Это говорит о том, что *L. flava* является подходящим видом для фитофилтрации низких концентраций Cd в воде. Растения, используемые для ризофилтрации, выращиваются в гидропонике в чистой воде, чтобы сначала развить большую корневую систему; затем чистая вода заменяется загрязненной для акклиматизации растений. После акклиматизации растения перемещают в загрязненную зону для удаления тяжелых металлов. Как только корни насытятся, их собирают и утилизируют. В идеале растения, используемые для ризофилтрации, должны иметь плотную корневую систему, высокую продуктивность биомассы и быть устойчивыми к тяжелым металлам. Для ризофилтрации можно использовать как наземные, так и водные растения. Водные виды, такие как гиацинт, азолла, каттлея, каттлея и тополь, обычно используются для очистки болотных вод из-за их высокой аккумуляции тяжелых металлов, высокой устойчивости или быстрого роста и высокой продуктивности биомассы.

### **3.3 Фитостабилизация**

Фитостабилизация - это простой, экономически эффективный и менее инвазивный для окружающей среды подход к стабилизации и снижению биодоступности загрязняющих веществ с помощью растений. Фактически, этот подход использует корни растений для ограничения подвижности и биодоступности загрязняющих веществ в почве. Растения могут уменьшить будущее негативное воздействие загрязняющих веществ в окружающей среде, предотвращая их попадание в грунтовые воды или распространение по воздуху. Этот метод применим в тех случаях, когда быстрые меры по детоксикации загрязненных участков недоступны (например, если ответственная компания работает совсем недолго или если участок не является приоритетным в программе реабилитации). При таком подходе химические и биологические характеристики загрязненных почв изменяются путем увеличения содержания органического вещества, емкости катионного обмена (СЕС), уровня питательных веществ и биологических действий. При фитостабилизации растения отвечают за снижение просачивания воды в почвенную матрицу, что может привести к образованию опасного фильтрата, предотвращение прямого контакта с загрязненной почвой, действуя как барьер, и предотвращение эрозии почвы, которая приведет к распространению токсичных металлов на другие территории. Фитостабилизация является подходящей техникой для восстановления Cd, Cu, As, Zn и Cr. Было исследовано влияние трех органических отходов - осадка сточных вод, компоста твердых бытовых отходов и компоста садовых отходов - на фитостабилизацию чрезвычайно кислых почв, загрязненных металлами. В

эксперименте использовался райграс многолетний (*Lolium perenne* L.). Органические остатки использовались в количестве 25, 50 и 100 мг га<sup>-1</sup> (сухой вес). Эти реагенты иммобилизовали и уменьшали подвижную фракцию Cu, Pb и Zn. Был сделан вывод, что райграс имеет потенциал для использования в фитостабилизации почв, загрязненных шахтами и компостом из твердых бытовых отходов и, в меньшей степени, осадком сточных вод при норме 50 мг га<sup>-1</sup>, и что он эффективен в иммобилизации металлов *in situ*, улучшении химических свойств почвы и значительном увеличении биомассы растений.

### **3.4 Фитоволатилизация**

Фитоволатилизация - это использование зеленых растений для удаления летучих загрязняющих веществ, таких как Hg и Se, из загрязненной почвы и поднятия их в воздух из листьев. Некоторые растения способны преобразовывать Se в диметилселенид и диметилдиселенид в условиях высокого содержания селена.

### **3.5 Фитодеградация**

Фитодеградация - это использование растений и микроорганизмов для поглощения, метаболизма и разложения органических загрязнителей. При таком подходе корни растений используются вместе с микроорганизмами для детоксикации почвы, загрязненной органическими соединениями. Этот метод также известен как фитотрансформация. Некоторые растения способны обеззараживать почвы, илы, шламы, подземные и поверхностные воды путем выработки ферментов. Этот метод воздействует на органические соединения, такие как гербициды, инсектициды и хлорированные растворители, а также на неорганические загрязнители.

### **3.6 Фитоопреснение**

Это недавно разработанный новый метод, который использует галофильные растения для восстановления засоленных почв и является наиболее широко используемым биологическим методом для этого типа обеззараживания. По сравнению с другими методами фиторемедиации, в литературе очень мало информации об этом процессе. Галофиты считаются естественно хорошо приспособленными к МТ по сравнению с гликофитными растениями. Способность растения к фиторемедиации зависит от вида, а также от свойств почвы, таких как засоленность, соленость и пористость, и других климатических факторов, особенно количества осадков. В обзоре литературы сообщалось, что два галофильных растения, а именно *Suaeda maritima* и *Sesuvium portulacastrum*, могут удалить почти 504 кг и 474 кг NaCl, соответственно, с одного гектара засоленной почвы в течение четырех месяцев. Исследования по опреснению галофильных растений показали

многообещающие результаты в восстановлении почв, пораженных ионами натрия ( $\text{Na}^+$ ) и хлорид-ионами ( $\text{Cl}^-$ ). Этот метод биоремедиации не подходит для обеззараживания почв, загрязненных НМ и РАН, но является перспективным для засоленных почв.

Растения, использующие свою живую биомассу для накопления тяжелых металлов, в последние десятилетия привлекают все большее внимание исследователей во всем мире. Хотя гипераккумуляторы использовались для удаления тяжелых металлов, гипераккумуляторы Pb, Cu, Co, Cr и т.д. остаются в основном неподтвержденными и требуют дальнейших научных исследований. Этого можно достичь, используя стандартные методы для подтверждения достоверности аналитических данных, относящихся к металлам и металлоидам.

### 3.7 Фитоэкстракция

Фитоэкстракция - это метод фиторемедиации, при котором растения используются для удаления тяжелых металлов, таких как Cd, из воды, почвы и отложений. Это идеальный метод удаления загрязняющих веществ из почвы без негативного влияния на ее свойства. Кроме того, при использовании этого метода металлы, накопленные в собираемых частях растения, могут быть просто извлечены из золы, образующейся после сушки, сжигания и компостирования этих собираемых частей. Фитоэкстракцию также называют фитомайнингом или биомайнингом. Эта технология представляет собой более совершенную форму фиторемедиации, при которой культуры с высокой биомассой, выращиваемые на загрязненных почвах, используются для биоремедиации и извлечения тяжелых металлов. Она может быть применена в минеральной промышленности для коммерческого производства металлов с использованием сельскохозяйственных культур. Способность растений переносить и поглощать тяжелые металлы из почвы в своих воздушных побегах и урожайных частях корней метро является ключом к успеху фитоэкстракции, и за последнее десятилетие было проведено несколько полевых экспериментов и коммерческих учений для изучения успеха фитоэкстракции. Кроме того, чтобы фитоэкстракция считалась успешной, загрязненные территории должны быть детоксифицированы до уровня, определенного экологическими нормами, и с меньшими затратами, чем традиционные методы. Ученые выразили мнение, что в будущем фитоэкстракция может рассматриваться как коммерческая технология. В нескольких литературных источниках описан потенциал различных видов для фитоэкстракции на загрязненных тяжелыми металлами территориях (Grispen et al., 2006; Daghan et al., 2008; Neugschwandtner et al., 2008; Zadeh et al., 2008; Liu et al., 2010; Nwaichi and Onyeike, 2010). Mangkoedihardjo и Surahmaida (2008) исследовали потенциал *J. curcas L.* для обеззараживания Cd- и Ahmadpour et al. 14039 Pb-загрязненных почв. Садовая почва была искусственно загрязнена  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  и  $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ . Растения обрабатывали при

различных уровнях содержания  $Pb(NO_3)_2$  и  $Cd(NO_3)_2$  в почве. Растения обрабатывали различными уровнями этих элементов в отдельной и смешанной смеси в течение одного месяца. Результат показал, что основная концентрация (50 мг кг<sup>-1</sup>) этих двух элементов не оказывала вредного воздействия на растения. Исследователи обнаружили, что *J. curcas* L. имеет потенциал для фиторемедиации Cd и Pb на загрязненных территориях. Ученые исследовали удаление Cd, Pb, As и Hg из остатков шлама в Лесном научно-исследовательском институте Малайзии. Несколько древесных растений, включая *Norea odorata*, *Acacia mangium*, *Swietenia macrophylla* и *Intsia palembanica*, были высажены в остатки ила для определения их потенциала биоаккумуляции Cd, Hg, Pb и As. Результаты показали, что *N. odorata* и *I. palembanica* способны удалять Cd за короткий период времени по сравнению с другими, в то время как *A. mangium* подходит для удаления As. Jiang и др. определили производительность роста и способность фитоэкстракции Cu у *Elsholtzia splendens*. В тепличном исследовании  $CuSO_4 \cdot 5H_2O$  применялся в различных концентрациях, таких как 100, 200, 400, 600, 800, 1000 и 1200 мг кг<sup>-1</sup>. Этот вид растений показал высокую способность переносить Cu, в то время как *A. mangium* подходит для удаления As. Этот вид растений показал высокую способность переносить токсичность Cu и демонстрировал нормальный рост при воздействии Cu до 80 мг кг<sup>-1</sup> доступной Cu. Lee et al. (2009) изучали фитоэкстракционный потенциал карамболы (*Averrhoa carambola*) как вида деревьев с высокой биомассой. После 170 дней выращивания в почве с низким содержанием Cd этот вид произвел больше биомассы побегов (18,6 т га<sup>-1</sup>) и накопил 213 г Cd на гектар. Исследователи предположили, что карамбола является подходящим вариантом для почв с низким содержанием Cd. Vu и др. (2009) оценили фитоэкстракционный потенциал гибридного тополя (*Populus deltoids* × *Populus nigra*) на двух пурпурных суглинках и аллювиальных почвах, загрязненных Cd. Было замечено, что накопление Cd в частях растений увеличивалось с увеличением содержания Cd в двух почвах. Накопление Cd в корнях растений было выше, чем в побегах, а затем в листьях на пурпурной почве, но на аллювиальной почве наблюдалась противоположная картина. Мураками и др. также исследовали способность сои (*Glycine max* L. Merr., cv. Enrei и Suzuyutaka), кукурузы (*Zea mays* L., cv. Gold Dent) и риса (*Oryza sativa* L., cv. Nipponbare и Milyang 23) к фитоэкстракции Cd на загрязненных участках. Эти виды были посажены на андосоле и двух флювисолях, загрязненных низкими концентрациями Cd (от 0,83 до 4,29 мг Cd кг<sup>-1</sup>) в течение 60 дней. Результаты показали, что накопление Cd в побегах риса Milyang 23 составляло от 1 до 15% от общего содержания Cd в почве. Было сделано заключение, что эти виды имеют потенциал для восстановления почвы риса с низким содержанием Cd.

### 3.8 Преимущества и недостатки фиторемедиации

Фиторемедиация - это дешевая и эффективная стратегия очистки загрязненных почв, не требующая дорогостоящих инструментов и квалифицированных человеческих ресурсов. Как зеленая технология, она применима к различным типам органических и неорганических загрязнителей и обеспечивает эстетическую пользу окружающей среде за счет использования деревьев и создания зеленых зон, что социально и психологически выгодно для всех. Эта зеленая технология подходит для больших территорий, где другие подходы были бы дорогими и неэффективными. Кроме того, благодаря практическому подходу к обеззараживанию почвы и воды, отходы могут быть повторно использованы с минимальным ущербом для окружающей среды. Кроме того, рассеивание загрязняющих веществ в воздухе и воде уменьшается за счет предотвращения выщелачивания и эрозии почвы, которые могут быть вызваны ветром и водой. Время является наиболее серьезным ограничением фиторемедиации, поскольку для эффективного восстановления при таком подходе может потребоваться несколько лет. Кроме того, поддержание растительности на сильно загрязненных территориях является сложной задачей, а здоровье человека также может оказаться под угрозой из-за попадания загрязнителя в пищевую цепь через животных, которые поедают загрязненные растения. Эта технология не впечатляет, когда лишь небольшая часть загрязнителя биодоступна для растений в почве. Более того, она ограничена небольшим количеством или отсутствием загрязненных участков, окруженных корнями растений.

### **3.9 Актуальность проблемы и выводы**

С начала промышленной революции загрязнение биосферы тяжелыми металлами значительно возросло и стало серьезной экологической проблемой. Загрязнение тяжелыми металлами можно считать одной из самых критических угроз для почвенных и водных ресурсов, а также для здоровья человека. В последние десятилетия глобальный ежегодный выброс тяжелых металлов достиг 22 000 тонн (метрических тонн) Cd, 939 000 тонн Cu, 135 000 тонн Zn и 738 000 тонн Pb. Источники загрязнения металлами включают антропогенную и геологическую деятельность. Промышленные загрязнители, плавление, добыча полезных ископаемых, военная деятельность, производство топлива и сельскохозяйственных химикатов - вот некоторые виды антропогенной деятельности, вызывающие загрязнение металлами. Внесение фосфорных удобрений в сельскохозяйственные почвы привело к увеличению их содержания. Фактически, растущий спрос на сельскохозяйственную продукцию привел к обширному возделыванию сельскохозяйственных земель. Применение удобрений, пестицидов и гербицидов необходимо для защиты качества и количества этих продуктов. Однако чрезмерное использование этих агрохимикатов создает экологические

проблемы, такие как накопление этих химикатов в почве и их оглощение растениями. В отличие от органических веществ, эти металлы не могут быть модифицированы микроорганизмами. Токсичность тяжелых металлов представляет собой очень серьезную проблему, поскольку они долгое время сохраняются в окружающей среде. Период полураспада этих токсичных элементов составляет более 20 лет. По данным Группы экологических действий США (USEAG), эта экологическая проблема угрожает здоровью более 10 миллионов человек во многих странах. Загрязнение тяжелыми металлами распространилось по всему миру. Пятьдесят три элемента классифицируются как тяжелые металлы. Их плотность превышает 5 г см<sup>-3</sup>, и они известны как универсальные загрязнители в промышленных районах.

Тяжелые металлы являются одной из самых серьезных угроз для почвы и водных ресурсов, а также для здоровья человека. Эти металлы попадают в окружающую среду в результате добычи полезных ископаемых, выплавки металлических руд, промышленных выбросов, а также использования пестицидов, гербицидов и удобрений. Такие металлы, как Cd, Cu, Pb, Zn и металлоиды (например, As) считаются металлическими загрязнителями. Традиционные технологии восстановления являются дорогостоящими, требуют много времени и наносят вред окружающей среде. Поэтому использование недорогих и экологически чистых технологий для восстановления загрязненных тяжелыми металлами почв неизбежно, особенно в развивающихся странах. Фиторемедиация металлов является наиболее эффективным растительным методом удаления загрязняющих веществ с загрязненных территорий. Эта зеленая технология может быть применена для восстановления загрязненных почв без повреждения структуры почвы. Было доказано, что определенные растения, такие как травы и древесные породы, обладают выраженным потенциалом поглощения токсичных металлов. Эти растения известны как гипераккумуляторы. Исследователи пытаются найти новые виды растений, которые можно использовать для удаления тяжелых металлов.

#### 4. Материалы и методы

Целью данной работы является изучение влияния соли цинка на рост и развитие пшеницы и сахарного сорго.

Объекты исследования:

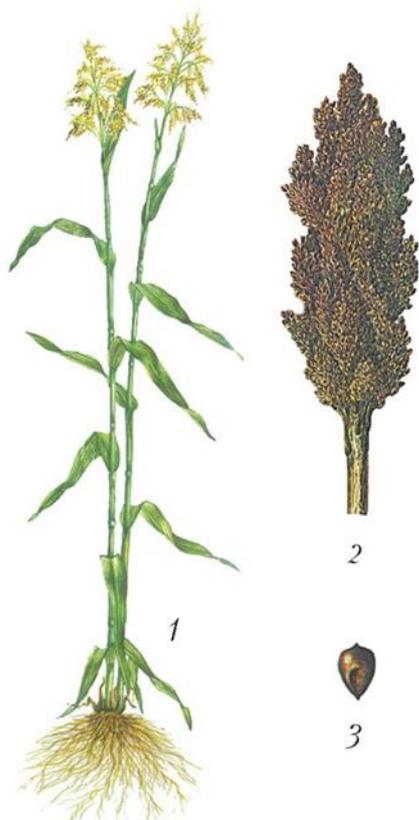


Рис.1 Сахарное сорго

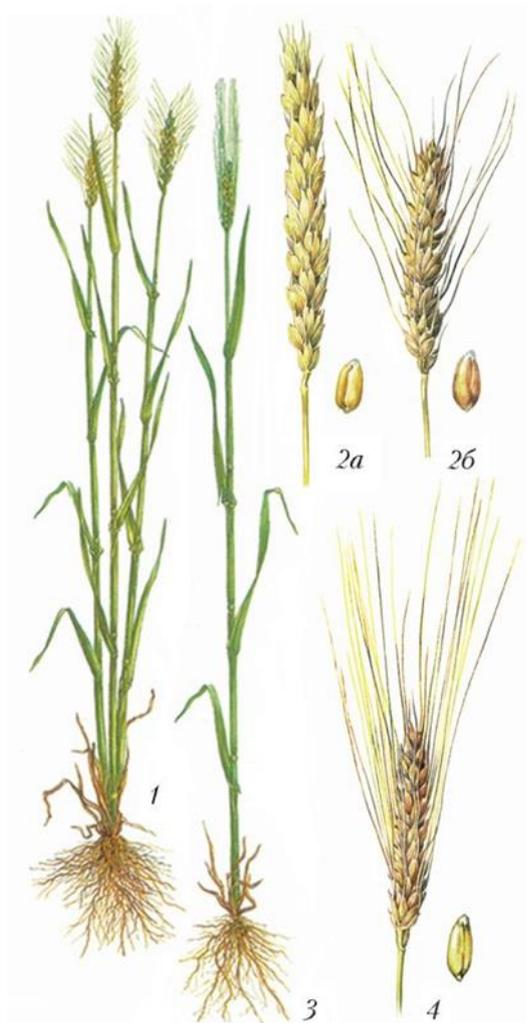


Рис.2 Пшеница

Перед началом эксперимента семена были продезинфицированы. Этот процесс включал следующие этапы: семена замачивали в 0,05% растворе хлоргексидина в течение 5 минут, затем были подвергнуты обработке этиловым спиртом с концентрацией 70% в течение 2,5 минут, и, наконец, семена промывались дистиллированной водой в течение 5 минут.

Таким образом были проведены все необходимые подготовительные процедуры, чтобы обеспечить оптимальные условия для эксперимента.

Для проведения опыта была использована соль цинка  $ZnSO_4$  (сульфат цинка)

Варианты опыта:

- 1) Контроль (не загрязненная почва)
- 2) ЗП+ПДК
- 3) ЗП+ ЗПДК

4) ЗП+ 15ПДК

Растворы:

- 1) Вода (для контроля)
- 2) ПДК- 55 мг/л
- 3) ЗПДК- 165 мг/л
- 4) 15ПДК- 825 мг/л

#### 4.1 Методы исследования

В первую очередь мы подготовили горшки и землю для посева семян. В общей сложности у нас 8 горшков, варианты которых представлены ниже:

- 1) Контроль + пшеница
- 2) ЗП+ПДК + пшеница
- 3) ЗП+ЗПДК + пшеница
- 4) ЗП+15ПДК + пшеница
- 5) Контроль + сорго
- 6) ЗП+ПДК + сорго
- 7) ЗП+ЗПДК + сорго
- 8) ЗП+15ПДК + сорго

До посева семян мы заливаем землю подготовленными растворами разных концентраций, для контрольных горшков заливалась вода того же объема что и растворы.

Растворы:

- 1) Вода (для контроля)
- 2) ПДК- 55 мг/л
- 3) ЗПДК- 165 мг/л
- 4) 15ПДК- 825 мг/л

После чего мы оставили залитые раствором горшки с землей до частичного высыхания и впитываения раствора в землю.



Рис. 3,4 горшки с землей, залитые раствором

Через несколько дней после этого мы начинаем посев семян в землю. В каждый горшок мы высадили по 50 семян сорго и пшеницы( 4 горшка с сорго и 4 с пшеницей). Посев осуществлялся неглубоко, но с небольшим расстоянием для каждого семени.

Дата посева: 20.06.2022

После чего осуществляли ежедневный полив и осмотр горшков до всхода.

Дата всхода: 23.06.2022

Ниже указано количество взошедших семян в горшках.

Горшки	Всход
Контроль+пшеница	15
ЗП+ПДК + пшеница	0
ЗП+ЗПДК + пшеница	3
ЗП+15ПДК + пшеница	4
Контроль + сорго	32
ЗП+ПДК + сорго	33
ЗП+ЗПДК + сорго	30
ЗП+15ПДК + сорго	34



Рис. 5,6 Взошедшие сорго и пшеница

Далее происходил полив и наблюдение до частично полного всхода растений. Подсчет взошедших ростков произвелся также и на 7 день после первого всхода, из 50 семян посаженных в каждом горшке взошли больше половины.

Горшки	Взошло
Контроль+пшеница	44
ЗП+ПДК + пшеница	42
ЗП+ЗПДК + пшеница	42
ЗП+15ПДК + пшеница	41
Контроль + сорго	45
ЗП+ПДК + сорго	43
ЗП+ЗПДК + сорго	45
ЗП+15ПДК + сорго	38



Рис.7,8 Растения на 7 день после всхода

После этого, в течении длительного времени растения не подвергались какому либо воздействию, кроме частого полива и наблюдения до полноценного роста.

27.07.2022 было произведено измерение роста растений, указанный ниже в таблице:

Горшки	Рост
Контроль+пшеница	104,2
ЗП+ПДК + пшеница	103,4
ЗП+ЗПДК + пшеница	100,1
ЗП+15ПДК + пшеница	98
Контроль + сорго	101,6
ЗП+ПДК + сорго	102,1
ЗП+ЗПДК + сорго	106,2
ЗП+15ПДК + сорго	100,5

## 4.2 Результаты и выводы исследований

Введение тяжелых металлов значительно снижают всхожесть семян, рост и развитие растений как пшеницы так и сорго. Это можно заметить по таблице всхода где показано что, посаженные в одно время и одних и тех же условиях растения сорго взошли быстрее и в большем количестве нежели растения пшеницы, также по таблице измерений растений видно что средний размер сорго хоть и не достиг своей нормы, но превышает размер пшеницы. Было выявлено, что растения сорго более устойчив к воздействию тяжелых металлов нежели пшеница. На данный момент собранные образцы растений пшеницы и сорго, их корни и зараженная почва находятся на анализе на содержание в них цинка, следовательно само исследование находится на этапе дальнейших изучений.

Выводы из проделанной работы и наблюдения:

1. Были проведены эксперименты по изучению влияния тяжелых металлов на примере цинка на рост и развитие пшеницы и сорго;
2. Выявлено значительное ингибирование процессов роста и развития пшеницы и сахарного сорго под влиянием цинка в концентрации 3 и 15 ПДК;
3. Более высокую устойчивость к действию цинка было обнаружено у сахарного сорго, которое рекомендуется нами для использования в фиторемедиации, очистки загрязненных тяжелыми металлами почв и для повышения эффективности восстановления нарушенных экосистем.

## ПЕРЕЧЕНЬ ПРИНЯТЫХ СОКРАЩЕНИЙ

СЕС- Cation Exchange Capacity (емкость катионного обмена (КЭЖ))

ТМ- тяжелые металлы

ЭДТА-этилендиаминтетрауксусная кислота

BCF - Bioconcentration Factor (фактор биоконцентрации)

TF- Transfer Factor (фактор переноса)

RE - редкоземельные элементы

SeMet- селенометионин

DMSe- диметилселенида

ПАУ- полициклическими ароматическими углеводородами

USEAG- Группы экологических действий США

ЗП- загрязненная почва

ПДК- предельно допустимая концентрация

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Phytoremediation of heavy metals: progress and challenges by S. K. Singh and P. K. Singh, in *Environmental Science and Pollution Research*, 2018.
2. Phytoremediation of heavy metals: Recent advances and challenges by Muhammad Sajid Aqeel Ahmad and Muhammad Naeem Khan, in *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019.
3. Phytoremediation of heavy metals: a review of plant-metal interactions and biotechnological applications by M. N. V. Prasad, et al., in *Journal of Environmental Management*, 2019.
4. Фиторемедиация: зеленая революция в экологии. В. Душнев, И. Раскин
5. Влияние тяжелых металлов на посевные качества сельскохозяйственных культур, Е.Н. Конышева
6. . Агрохимические методы исследования почв / Под ред. А.В. Соколова. М.: Наука, 1975.-656 с.
7. Алексеева-Попова Н.В. Адаптация растений к природному обогащению почв тяжелыми металлами // *Растения в экстремальных условиях минерального питания*. Д.: Наука, 1983. - 237 с 5-15.
8. Айдосова С.С. Применение *Echium vulgare* L. в фиторемедиации почв, загрязненных тяжелыми металлами / С.С Айдосова, К.С. Сагындык // *Изв. Нац. Акад. наук Республики Казахстан. Сер. Биол. и мед.* 2007. - №2. - С. 34-38.
9. Simon L. Heavy metal phytoextraction capacity of several agricultural crop plant species// *Proc. Extend. Abstracts 5 th Inter. Conf. Biogeochem. Trace Elements*, Juli 11-15, 1999. Vienna. Austria. - V.II. - P. 892-893.
10. Moreno-Jimenex E. Mercury bioaccumulation and phytotoxicity in two wild plant species of Almaden area. / E. Moreno-Jimenex, R. Gamarra, R.O. Carpena-Ruix// *Chemosphere*. — 2006. — V.63. Issue 11.- June.-P. 1969-1973.
11. Анисимова Л.Н. Накопление Co, Си и Zn ячменем в зависимости от содержания и формы нахождения металлов в дерново-подзолистой почве // *Агрохимия*. 2008. - №10. - С. 62-68.
12. П.Бигалиев А.Б. Современное состояние и перспективы био- и фиторемедиации почв загрязненных территорий // *Биотехнология. Теория и практика*.-2003,-№2.-С. 8-15.
13. Вахмистров Д.Б. Ионный режим растений: эволюция проблемы // *Новые направления в физиологии растений*. М.: Наука, 1985. - С. 214-230.
14. Phytoremediation of heavy metals: recent advances and applications by R. S. Kookana, et al., in *Plant and Soil*, 2014.
15. Phytoremediation of heavy metals: mechanisms and applications" by Liang Zhang, et al., in *Journal of Environmental Sciences*, 2017.

16. Phytoremediation of heavy metals: a review of recent advances and future prospects" by Sarwat Afshan, Shazia Anjum, and Riffat Naseem Malik, in Journal of Geochemical Exploration, 2016.
17. Phytoremediation of heavy metals: a review of recent advances and future prospects" by M. N. V. Prasad, et al., in Journal of Environmental Management, 2016.
18. Водяницкий Ю.Н. Железистые минералы и тяжелые металлы в почвах / Ю.Н. Водяницкий, В.В. Добровольский. М.: Почвенный ин-т им. В.В. Докучаева, 1998.-216 с.
19. Phytoremediation of heavy metals: state of the art and future prospects" by Z. Xu and R. Shen, in Frontiers of Environmental Science and Engineering, 2015.
20. Галиулин Р.В. Фитоэкстракция тяжелых металлов из загрязненных почв / Р.В. Галиулин, Р.А. Галиулина // Агрохимия. 2003. - №3. С.77-85.
21. Галиулина Р.А. Очистка почв от тяжелых металлов с помощью растений / Р.В. Галиулин, Р.А. Галиулина // Вестн. РАН. 2008. - Т. 78. - №3. - С. 247249.
22. Муратова А.Ю., Любунь Е.В., Сунгурцева И.Ю., Нуржанова А.А., Турковская О.В. Физиолого-биохимические реакции *Miscanthus × giganteus* на загрязнение почвы тяжелыми металлами // Экобиотех. – 2019. – Т. 2, № 4. – С. 482-493.
23. ИНДУЦИРОВАННАЯ ФИТОРЕМЕДИАЦИЯ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПЕСТИЦИДАМИ ПОЧВ С ПОМОЩЬЮ ПРОИЗВОДНЫХ ОКСАНА, 2013 С.Н. Калугин, А.А. Нуржанова, Р.А. Байжуманова, А.А. Митрофанова, Ж.Е. Жумашева.
24. Дричко В.Ф. Оценка скорости, очищения загрязненных почв методом фитоэкстракции // Почвоведение. 2006. - №9. - С. 1144-1149.
25. Карпачевский Л.О. Экологическое почвоведение. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1993.- 184 с
26. Brown S.L. Phytoremediation potential of *Thlaspi caerulescens* and bladder campion for zinc- and cadmium -contaminated soil / S.L. Brown, R.L. Chaney.



## ОТЗЫВ

### НАУЧНОГО РУКОВОДИТЕЛЯ

на дипломную работу

Касым Алуа Максатқызы

6B05101 – «Химическая и биохимическая инженерия»

Тема: «Фиторемедиация тяжелых металлов»

В данной дипломной работе четко указана актуальность, которая заключается в повышении эффективности выявления гипераккумуляторных свойств растений для очищения почвы от тяжелых металлов, которые в последствии могут быть использованными для очищения окружающей среды и восстановления нарушенных экосистем. Растения использованные для исследования - являются перспективными для фиторемедиации и имеют потенциал для дальнейшего использования и исследований, в особенности сахарное сорго. Изложение информации в дипломной работе является логичным и аргументированными результатами проведенных исследований.

Цели и задачи сформулированы точно в соответствии с темой дипломной работы. Теоретическая часть работы была всесторонне изучена и написана при использовании обширной базы литературных источников.

При выполнении дипломной работы Касым А.М. выказала самостоятельность в проведении исследований. Выполненные исследования отвечают поставленной цели. После полученных результатов были составлены обоснованные и четкие выводы.

Оформление дипломной работы соответствует нормативным требованиям.

Подводя итог можно отметить, что тема дипломной работы Касым А.М. крайне актуальна, отличается теоретической и практической ценностью. Считаю, что дипломная работа Касым Алуа соответствует все требованиям для присвоения квалификации бакалавр по специальности -6B05101 – «Химическая и биохимическая инженерия» и заслуживает высокой оценки «Отлично» - 95%.

**Научный руководитель**

Доктор биологических наук,

Профессор

 Анапияев Б. Б.

«07» июня 2023 г.



## Metadata

Title

**Фиторемедиация тяжелых металлов.docx**

Author(s)

**Касым Алуа Максатқызы**

Coordinator

**Бакытжан Анапияев**

Organizational unit

**ИГИНГД**

## List of possible text manipulation attempts

In this section, you can find information regarding text modifications that may aim to tamper with the analysis results. Invisible to the person evaluating the content of the document on a printout or in a file, they influence the phrases compared during text analysis (by causing intended misspellings) to conceal borrowings as well as to falsify values in the Similarity Report. It should be assessed whether the modifications are intentional or not.

Characters from another alphabet		1
Spreads		0
Micro spaces		2
Hidden characters		0
Paraphrases (SmartMarks)		36

## Record of similarities

Please note that high coefficient values do not automatically mean plagiarism. The report must be analyzed by an authorized person.

**25**

The phrase length for the SC 2

**7045**

Length in words

**53468**

Length in characters

## Active lists of similarities

Scroll the list and analyze especially the fragments that exceed the SC 2 (marked in bold). Use the link "Mark fragment" and see if they are short phrases scattered in the document (coincidental similarities), numerous short phrases near each other (mosaic plagiarism) or extensive fragments without indicating the source (direct plagiarism).

### The 10 longest fragments

Color of the text

NO	TITLE OR SOURCE URL (DATABASE)	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)	
1	<a href="https://chel-potatoes.ru/uhod/sulfat-tsinka-udobrenie-primenenie.html">https://chel-potatoes.ru/uhod/sulfat-tsinka-udobrenie-primenenie.html</a>	72	1.02 %
2	<a href="http://mgau.ru/sciense/journal/PDF_files/vestnik_3_2018.pdf">http://mgau.ru/sciense/journal/PDF_files/vestnik_3_2018.pdf</a>	42	0.60 %
3	<a href="https://chel-potatoes.ru/uhod/sulfat-tsinka-udobrenie-primenenie.html">https://chel-potatoes.ru/uhod/sulfat-tsinka-udobrenie-primenenie.html</a>	34	0.48 %
4	<a href="https://alshar.ru/fiziologicheskaya-rol-metallov-v-zhiznedeyatel-nosti-rastitel-nykh-organizmov/">https://alshar.ru/fiziologicheskaya-rol-metallov-v-zhiznedeyatel-nosti-rastitel-nykh-organizmov/</a>	32	0.45 %
5	<a href="https://kamen-art.ru/tyazhelye-metally-v-pochve-kazahstana/">https://kamen-art.ru/tyazhelye-metally-v-pochve-kazahstana/</a>	27	0.38 %
6	<a href="https://chel-potatoes.ru/uhod/sulfat-tsinka-udobrenie-primenenie.html">https://chel-potatoes.ru/uhod/sulfat-tsinka-udobrenie-primenenie.html</a>	25	0.35 %

7	<a href="https://docplayer.ru/69511704-Mezhdunarodnyy-nauchnyy-zhurnal-vyhodit-ezhenedelno-51-185-2017.html">https://docplayer.ru/69511704-Mezhdunarodnyy-nauchnyy-zhurnal-vyhodit-ezhenedelno-51-185-2017.html</a>	20	0.28 %
8	<a href="http://www.dslib.net/agro-ximia/prichiny-i-zakonomernosti-tehnogennogo-zagrjaznenija-tjazhelymi-metallami-sistemy.html">http://www.dslib.net/agro-ximia/prichiny-i-zakonomernosti-tehnogennogo-zagrjaznenija-tjazhelymi-metallami-sistemy.html</a>	14	0.20 %
9	<a href="https://chel-potatoes.ru/uhod/sulfat-tsinka-udobrenie-primenenie.html">https://chel-potatoes.ru/uhod/sulfat-tsinka-udobrenie-primenenie.html</a>	13	0.18 %
10	<a href="http://www.dslib.net/agro-ximia/prichiny-i-zakonomernosti-tehnogennogo-zagrjaznenija-tjazhelymi-metallami-sistemy.html">http://www.dslib.net/agro-ximia/prichiny-i-zakonomernosti-tehnogennogo-zagrjaznenija-tjazhelymi-metallami-sistemy.html</a>	10	0.14 %

from RefBooks database (0.00 %) 

NO	TITLE	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)
----	-------	---------------------------------------

from the home database (0.00 %) 

NO	TITLE	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)
----	-------	---------------------------------------

from the Database Exchange Program (0.00 %) 

NO	TITLE	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)
----	-------	---------------------------------------

from the Internet (4.50 %) 

NO	SOURCE URL	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)	
1	<a href="https://chel-potatoes.ru/uhod/sulfat-tsinka-udobrenie-primenenie.html">https://chel-potatoes.ru/uhod/sulfat-tsinka-udobrenie-primenenie.html</a>	152 (5)	2.16 %
2	<a href="http://mgau.ru/sciense/journal/PDF_files/vestnik_3_2018.pdf">http://mgau.ru/sciense/journal/PDF_files/vestnik_3_2018.pdf</a>	42 (1)	0.60 %
3	<a href="https://alshar.ru/fiziologicheskaya-rol-metallov-v-zhiznedeyatel-nosti-rastitel-nykh-organizmov/">https://alshar.ru/fiziologicheskaya-rol-metallov-v-zhiznedeyatel-nosti-rastitel-nykh-organizmov/</a>	38 (2)	0.54 %
4	<a href="https://kamen-art.ru/tyazhelye-metally-v-pochve-kazahstana/">https://kamen-art.ru/tyazhelye-metally-v-pochve-kazahstana/</a>	33 (2)	0.47 %
5	<a href="http://www.dslib.net/agro-ximia/prichiny-i-zakonomernosti-tehnogennogo-zagrjaznenija-tjazhelymi-metallami-sistemy.html">http://www.dslib.net/agro-ximia/prichiny-i-zakonomernosti-tehnogennogo-zagrjaznenija-tjazhelymi-metallami-sistemy.html</a>	32 (3)	0.45 %
6	<a href="https://docplayer.ru/69511704-Mezhdunarodnyy-nauchnyy-zhurnal-vyhodit-ezhenedelno-51-185-2017.html">https://docplayer.ru/69511704-Mezhdunarodnyy-nauchnyy-zhurnal-vyhodit-ezhenedelno-51-185-2017.html</a>	20 (1)	0.28 %

### List of accepted fragments (no accepted fragments)

NO	CONTENTS	NUMBER OF IDENTICAL WORDS (FRAGMENTS)
----	----------	---------------------------------------