

Государственное автономное учреждение дополнительного образования  
Брянской области «Брянский технопарк «Кванториум»

Научно-исследовательская работа  
«Биоремедиация почв с высоким содержанием тяжелых металлов»

Выполнила:  
Обучающаяся ГАУ ДО «Детский  
технопарк «Кванториум»  
г.Брянска  
Самоторова Анастасия

Брянск - 2023

## Содержание

Введение .....	3
1. Теоретическая часть.....	5
1.1. Почва.....	5
1.2. Тяжелые металлы.....	6
1.3. Основные факторы, вызывающие загрязнение почвы тяжёлыми металлами.....	6
1.4. Факторы загрязнения почвы в городе Брянске и Брянской области.....	6
1.5. Методы защиты почвы от загрязнения.....	6
1.6. Общие сведения о цианобактериях.....	7
2. Практическая часть.....	7
2.1. Материалы и методы исследования.....	7
2.2. Анализ полученных результатов.....	13
Заключение.....	14
Список литературы.....	15
Приложение.....	17

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время возросло негативное воздействие антропогенного фактора на биосферу из-за технологического и производственного развития человечества, вследствие чего происходит активное загрязнение окружающей среды. Самый трудно восстанавливаемый компонент биосферы – почва [2,25]. Она подвергнута негативному воздействию в большей степени из-за активной деятельности человека в различных сферах жизни. По данным Организации объединенных наций (ООН), около 75% почв подверглись деградации [1].

Люди нерационально используют земельные ресурсы, загрязняют почву агрохимическими веществами. Производственная деятельность наносит огромный вред всем компонентам биосферы [18]. Сильное воздействие оказывают токсичные выбросы различных предприятий в окружающую среду. Почвы загрязняются в большей степени, т. к. обладают способностью накапливать в себе тяжелые металлы, влияние которых отрицательно сказывается на живых организмах. Сейчас проблема загрязнения почв является одной из ведущих, ведь от их качественного состава напрямую зависит плодородие, количество выращиваемых и употребляемых в пищу человеком и животными сельскохозяйственных культур, они также являются местообитанием многих живых организмов [2,26].

Загрязнение почв может привести к появлению новых вредителей и болезней, а также изменить баланс экосистем. Однако в настоящее время стали доступны методы биоремедиации почв – комплекса способов очистки грунтов с использованием метаболического потенциала биологических объектов [3]. Наиболее перспективными являются цианобактерии, т. к. они обитают практически повсеместно, а также обладают огромными адаптационными возможностями к действию на них опасных загрязнителей.

Цель: осуществить биоремедиацию почв, загрязнённых тяжёлыми металлами, с применением метаболического и адаптационного потенциала цианобактерий.

Задачи:

1. Проанализировать научную литературу по выбранной теме исследования;
2. Собрать материал для проведения лабораторно-химических исследований с целью определения содержания тяжелых металлов;
3. Культивировать цианобактерии;
4. Провести практическое исследование;
5. Проанализировать полученные данные и сделать выводы по проведенной работе.

Гипотеза: предполагается, что метод биоремедиации почв с использованием сине – зелёных водорослей позволит частично устранить загрязнение тяжёлыми металлами.

## **1. Теоретическая часть**

### **1.1. Почва.**

Почва - природное тело, формирующееся в результате преобразования поверхностных слоев суши [4].

Существуют факторы почвообразования, к которым относят материнскую породу, климат, растительность, рельеф местности, разнообразие и жизнедеятельность организмов, обитающих в почве.

Основу любого грунта составляют песок, глина и ил. [20].

Существует несколько основных типов почв: песчаные, глинистые, илестые, суглинки.

Почва состоит из минеральных, органических и органоминеральных веществ. [5]

В настоящее время увеличивается уровень загрязненности почв. Загрязнение почв – вид антропогенной деградации, при котором содержание химических веществ в почвах превышает природный уровень.

Повышенное содержание определенных химических веществ в окружающей среде за счет их поступления из антропогенных источников представляет большую экологическую опасность [23].

### **1.2. Тяжелые металлы.**

Опасными химическими загрязнителями являются тяжелые металлы - химические элементы со свойствами металлов и значительным атомным весом или плотностью. Тяжелые металлы являются протоплазматическими ядами, токсичность которых увеличивается по мере увеличения атомной массы. В целом основа токсического действия лежит во взаимодействии между металлом и биологически активными белками [6].

Металлы, попадающие в окружающую среду, делятся на три класса опасности: высокоопасные, умеренно опасные, малоопасные [21].

### **1.3. Основные факторы, вызывающие загрязнение почвы тяжёлыми металлами**

Основные факторы, вызывающие загрязнение почвы тяжёлыми металлами [6]:

1. Промышленные предприятия;
2. Транспорт;
3. Полигоны ТБО, свалки.

Промышленные предприятия занимают огромные площади. Твёрдые отходы образуются на всех стадиях производства, утилизируется малая их часть.

Металлургические шламы содержат железо и пыль. Ветрами это разносится по окружающим предприятия территориям.

Автомобильные выбросы в атмосферу содержат соединения свинца, кадмия, меди, цинка. Выращивание каких-либо сельскохозяйственных растений вблизи автомагистралей небезопасно для здоровья населения [7;8].

После закрытия полигона ТБО в теле свалки происходит биохимическое разложение отходов, которые являются источником химического загрязнения окружающих сред.

Особенно опасным является ртутное загрязнение, происходящее из-за попадания в места захоронения флюоресцентных ламп и приборов с ртутным заполнением. [9].

#### **1.4. Факторы загрязнения почвы в городе Брянске и Брянской области**

Самые крупными из металлургических, машиностроительных и сталелитейных предприятий являются:

1. «Брянский машиностроительный завод» (БМЗ) – крупнейшее предприятие транспортного машиностроения России.
2. «Бежицкий сталелитейный завод» – производство стального литья для изготовления и ремонта железнодорожного транспорта [10].

По данным ГИБДД, количество личного автомобильного транспорта в городе Брянске продолжает неуклонно увеличиваться [11].

На данный момент в Брянской области насчитывается 16 действующих полигонов твёрдых коммунальных отходов. [12].

#### **1.5. Методы очистки почвы от загрязнения**

В настоящее время происходит постепенное развитие и последующее использование ремедиационных технологий, которые подразумевают под собой применение биотехнологий для очистки природных сред [22].

Для очистки почвы от поллютантов используется целый спектр химических и физических методов очистки. Химические методы очистки основаны на использовании специальных реагентов, не всегда безопасных для окружающей среды. Физические методы энергозатратные и не способны очистить значительную площадь загрязнённой почвы. Оба этих способа являются очень агрессивными, их целесообразно применять при высокой степени опасности загрязняющих веществ [14].

Если площадь загрязнения велика, то наиболее рациональным методом очистки является биоремедиация почвы. Процесс биоремедиации отличается от других методов тем, что во время его использования почву очищают сами представители биосферы. Метод биоремедиации позволяет производить очистку почвы, не используя специального

оборудования, так как необходимую микрокультуру высевают прямо на загрязнённый участок [14].

Для очистки почв перспективно применение цианобактерий. Сине-зеленые водоросли имеют широкое распространение в разных экотопах. Они могут заселять разнообразные субстраты. Сине-зелёные водоросли обладают повышенной адаптивной устойчивостью к экстремальным условиям, которая достигается несколькими путями:

1. Интенсивное выделение внеклеточной слизи. Доля этих веществ в общем балансе клетки весьма существенна и составляет примерно 40% чистой суточной продукции фотосинтеза.

2. Наличие глутатионовой системы может быть первой линией обороны в системе защиты клеток в период, предшествующий формированию металлсвязывающих белков.

При этом биомасса цианобактерий может многократно использоваться в циклах сорбции-десорбции [14,15].

Внесение цианобактерий в почву экологически безопасно, так как цианобактерии –биологически значимый компонент почвенной экосистемы, их массовое развитие приводит к оздоровлению почвы. [15]

### **1.6. Общие сведения о цианобактериях**

Цианобактерии — морфологически разнообразная группа грамотрицательных прокариот, включающая различные формы. Многоклеточные формы имеют нитевидное строение. Единицей строения служит трихом.

Известны разные способы размножения цианобактерий. Деление клеток происходит преимущественно путем бинарного деления. Размножение нитчатых форм сине – зеленых водорослей осуществляется помощью обрывков трихома.

Различные виды цианобактерий обладают разнообразными адаптационными механизмами. Основным является выделение слизи. Известно, что слизь структурирована и представляет собой единую систему с клеткой. Так, проводимые ранее исследования показали наличие в слизи плотного перидерма, что свидетельствует о едином плане строения слизи с клеткой [13, 15].

## **2. Практическая часть**

### **2.1. Материалы и методы исследования.**

Данная работа проводилась на базе ГАО ДО Брянской области «Детского технопарка «Кванториум» под руководством Антоненко Ю.А.

Качественный и количественный химический анализ почв был проведен повторно с интервалом в один год и являлся первым блоком исследования.

Отбор проб проводится в районах воздействия промышленных, хозяйственно-бытовых и транспортных источников загрязнения. Используемые инструменты должны быть тщательно очищены от ржавчины. Не следует применять оцинкованные ведра, медные изделия, эмалированные тазы, окрашенные инструменты. Пробы почв помещаются в мешочки из хлопчатобумажной ткани или пластиковые контейнеры [16].

Пробы были взяты в первой половине октября 2021 года при отсутствии снежного покрова и иных осадков в следующих точках города:

1. Брянский машиностроительный завод (БМЗ), ул. Ульянова, 26.
2. Предприятие «Бежицкая сталь», ул. Сталилитейная, 1А.
3. Участок вблизи проезжей части по улице Рылеева.
4. Участок вблизи проезжей части по улице Ульянова.
5. Полигон ТБО, ул. Молокова 104.

Методики проведения лабораторно-химических анализов, необходимых для определения содержания и концентрации тяжелых металлов, аналогичны проводившемуся годом ранее исследованию. [19]

Почвенные анализы проводят с навесками почвы в воздушно-сухом состоянии. Почвы предварительно просушиваются в сухом хорошо проветриваемом помещении, не содержащем в воздухе пыли, паров кислот и аммиака. Хранение сырых образцов является недопустимым, так как в результате деятельности микроорганизмов могут изменяться химические свойства почвы.

Для определения механического состава почвы следует насыпать примерно одну столовую ложку почвенной навески в ладонь. С помощью пипетки Пастера к почве необходимо приливать воду и тщательно перемешивать воду с почвой до получения как можно более вязкого «теста». Из полученного «теста» следует скатать шарик диаметром 2-3 см и попробовать растянуть его в жгут. Из различий физических свойств сделать выводы о её механическом составе, воспользовавшись методическими материалами. Результаты исследования приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты исследования механического состава почв.

Образец	При скатывании	Механический состав	Составляющие
Бежицкая сталь	Не скатывается в шар, но лепится в непрочные шарики.	Супесчаный	Преобладают песчаные частицы с небольшой примесью глины

Ул. Рылеева	Образует длинный жгут, при сгибании в кольцо на нём появляются трещины	Тяжелосуглинистый	Крупные песчаные зёрна отсутствуют
Полигон ТБО	Образовывает сплошной жгут, разламывающийся при сгибании в кольцо.	Среднесуглинистый	Среди глинистых частиц заметны песчаные частицы
БМЗ	Образует непрочный шарик, в жгут не раскатывается, образует отдельные цилиндрики.	Лёгкосуглинистый	Среди глинистых частиц преобладают песчаные частицы
Ул. Ульянова	Образовывает сплошной жгут, разламывающийся при сгибании в кольцо.	Среднесуглинистый	Среди глинистых частиц заметны песчаные частицы

Исследование образцов почв на наличие и концентрацию тяжёлых металлов требуют выжимки из почвенных навесок. Методика приготовления выжимок:

1. На весах отмерить 30 г почвенной навески.
2. Перенести навеску в колбу и добавить 100 мл дистиллированной воды
3. Перемешать содержимое с помощью магнитной мешалки в течение 15 минут.
4. С помощью стеклянной воронки с бумажным фильтром отфильтровать почву от почвенной вытяжки.

Методика приготовления почвенных выжимок была взята из методического пособия «Охотник за микробами» [24].

Для выявления наличия и установления концентрации тяжёлых металлов в почвенных выжимках необходимо провести ряд качественных химических реакций на катионы тяжёлых металлов (таблица 2).

Таблица 2. Качественные реакции на тяжелые металлы.

Катион	Реакция	Признак реакции
Свинец (Pb)	$Pb^{2+} + 2I^{-} = PbI_2$ .	$PbI_2$ - осадок ярко желтого цвета
Ртуть (Hg)	$1.Hg^{2+} + OH^{-} = Hg(OH)_2$	$1Hg(OH)_2$ - желтый осадок ( $HgO$ )
Кадмий (Cd)	$Cd^{2+} + 2OH^{-} = Cd(OH)_2$	$Cd(OH)_2$ - белый осадок

Хром (Cr)	$\text{OH}^- + \text{Cr}^{2+} = \text{Cr}(\text{OH})_2$	$\text{Cr}(\text{OH})_2$ - коричневый аморфный осадок
-----------	---------------------------------------------------------	-------------------------------------------------------

Для проведения качественных реакций были использованы пробирки объемом 15 мл, спиртовка, почвенные выжимки, пипетки Пастера, реагенты (таблица 2). Изначально в проверенные лакмусовой тест-полоской индикатора пробирки наливается 3 мл почвенной выжимки, после чего туда осторожно приливают 1 мл реагента. Если реакция протекает медленно, производится её ускорение путём нагревания образца над пламенем спиртовки.

При проведении повторных анализов тяжелые металлы были выявлены в следующих образцах:

Свинец (Pb) был найден в следующих образцах: Бежицкая сталь, БМЗ, ул. Рылеева, ул. Ульянова.

Ртуть (Hg) была найдена в следующих образцах: Бежицкая сталь.

Кадмий (Cd) был найден в следующих образцах: Полигон ТБО.

Хром (Cr) был найден в следующих образцах: БМЗ.

Далее растворы с полученными осадками (фото 1-7) соединений тяжёлых металлов используются для установления их концентрации путём выпаривания. Результаты данного исследования выведены в форме таблицы.

Таблица 3. Концентрация тяжелых металлов в испытуемых образцах.

Образец	Металл	Масса осадка (г)	Содержание в г на 1 кг почвы.	Предельно допустимая концентрация в мг на 1 кг
Бежицкая сталь	Свинец (Pb)	0,043 г	4,7 г	0,01 г
	Ртуть (Hg)	0,1118 г	20 г	0,00001 г
Полигон ТБО	Кадмий (Cd)	0,058 г	11,2 г	0,0005 г
БМЗ	Свинец (Pb)	0,0194 г	21 г	0,01 г

	Хром (Cr)	0,0985 г	14,3 г	0,003 г
Ул. Рылеева	Свинец (Pb)	0,0174 г	3,105 г	0,01 г
Ул. Ульянова	Свинец (Pb)	0,0234 г	2,6 г	0,01 г

При сравнении с результатами предыдущих исследований можно сделать вывод, что содержание тяжелых металлов в почвах увеличилось. Результаты были оформлены в виде таблицы 4.

Таблица 4. Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов.

Образец	Металл	Содержание в почве на 2021-2022 год	Содержание в почве на 2022-2023 год
Бежицкая сталь	Свинец (Pb)	1,8 г	4,7 г
	Ртуть (Hg)	15,4 г	20 г
Полигон ТБО	Кадмий (Cd)	8,1 г	11,2 г
БМЗ	Свинец (Pb)	13 г	21 г
	Хром (Cr)	2,2 г	14,3 г
Ул. Рылеева	Свинец (Pb)	1,4 г	3,105 г
Ул. Ульянова	Свинец (Pb)	1,7 г	2,6 г

Содержание свинца (Pb) в образце Бежицкая сталь увеличилось на 2,9 г.

Содержание ртути (Hg) в образце Бежицкая сталь увеличилось на 4,6 г.

Содержание кадмия (Cd) в образце полигон ТБО увеличилось на 3,1 г.

Содержание свинца (Pb) в образце БМЗ увеличилось на 8 г.

Содержание хрома (Cr) в образце БМЗ увеличилось на 12,1 г.

Содержание свинца (Pb) в образце ул. Рылеева увеличилось на 1,705 г.

Содержание свинца (Pb) в образце ул. Ульянова увеличилось на 0,9 г.

По полученным результатам содержание тяжелых металлов больше всего возросло в образцах БМЗ (Cr), БМЗ (Pb), Бежицкая сталь (Hg).

Вторым этапом являлось культивирование цианобактерий. Для этого необходимо было получить чистую культуру из выведенных заранее в условиях хорошего освещения и комнатной температуры сине-зеленых водорослей, не содержащую других водорослей, бактериальных организмов и бактерий-спутников. Очистить культуру цианобактерий от

вышеперечисленных микроорганизмов можно путем воздействия на них ультрафиолетовым излучением. Источником УФ-излучения служил ламинарный шкаф микробиологической безопасности «Logica». Цианеи выдерживались под ультрафиолетом в течение 30 минут при длине волны 254 нм. После ликвидации сторонних микроорганизмов проводилась проверка очищенных растворов, содержащих цианобактерии, с использованием светового микроскопа при различном увеличении.

Далее осуществлялось приготовление питательной среды. Наиболее подходящей для сине – зеленых водорослей является среда Громова № 6 следующего состава (на 100 мл воды) [17]:

Таблица 5. Состав питательной среды Громова №6.

Компоненты	Масса, г
KNO <sub>3</sub>	0,1
K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,02
MgSO <sub>4</sub> * 7 H <sub>2</sub> O	0,02
CaCl <sub>2</sub>	0,015
NaHCO <sub>3</sub>	0,02
Микроэлементы	0,1
Агар	0,8
Вода водопроводная	100

Микроэлементы поступили в питательную среду за счет водопроводной воды, заранее прокипяченной и профильтрованной через ватно-марлевый фильтр.

После добавления к водопроводной воде вышеуказанных соединений производилась стерилизация среды в автоклаве при 120 °С и давлении 1 атм. в течение 45 минут, затем готовая питательная среда подщелачивалась до pH 8.

Посев бактерий осуществлялся методом последовательного пересева путем внесения в стерильную полужидкую агарозную среду, содержащуюся в конической колбе на 250 мл, чистой культуры цианобактерий с использованием пипетки Пастера, после чего питательную среду с цианеями закрывали пробкой, изготовленной из стерильной ваты и марли для обеспечения доступа кислорода внутрь колбы. Далее среда находилась на протяжении 7 суток под непрерывным освещением люминесцентными лампами при 25°С. Каждый день среда подвергалась перемешиванию в течение 5 минут для обеспечения дыхания бактерий.

Третьим этапом исследования было осуществление биоремедиации почвенных выжимок, содержащих тяжелые металлы, с использованием культивированных цианобактерий. Для этого в пробирки на 15 мл производилось внесение пипеткой Пастера

2 мл почвенной выжимки с последующим добавлением к ней 2 мл полужидкой агарозной среды, содержащей сине – зеленые водоросли, после чего данные растворы оставались в пробирках на 1 неделю при условиях достаточного освещения и температуры не ниже 25°C. В результате была получена культура нитчатых и сферических форм цианобактерий.

Далее был проведен ряд повторных качественных реакций на катионы тяжелых металлов. На данном шаге производилось приливание 1 мл реагента (Таблица 2) к полученным растворам с их последующим выпариванием для установления концентрации тяжелых металлов. Полученные результаты представлены в форме таблицы.

Таблица 6. Содержание тяжелых металлов после биоремедиации.

Образец	Металл	Масса осадка (г)	Содержание в г на 1 кг почвы.	Предельно допустимая концентрация в мг на 1 кг
Бежицкая сталь	Свинец (Pb)	0,043 г	2,4 г	0,01 г
	Ртуть (Hg)	0,1118 г	12 г	0,00001 г
Полигон ТБО	Кадмий (Cd)	0,02242 г	8,28 г	0,0005 г
БМЗ	Свинец (Pb)	0,00617 г	5,382 г	0,01 г
	Хром (Cr)	0,0434 г	3, 89 г	0,003 г
Ул. Рылеева	Свинец (Pb)	0,01 г	1,035 г	0,01 г
Ул. Ульянова	Свинец (Pb)	0,0051 г	1,414 г	0,01 г

Содержание свинца (Pb) в образце Бежицкая сталь уменьшилось на 2,3 г.

Содержание ртути (Hg) в образце Бежицкая сталь уменьшилось на 8 г.

Содержание кадмия (Cd) в образце полигон ТБО уменьшилось на 2,92 г.

Содержание свинца (Pb) в образце БМЗ уменьшилось на 15,618 г.

Содержание хрома (Cr) в образце БМЗ уменьшилось на 10, 41 г.

Содержание свинца (Pb) в образце ул. Рылеева уменьшилось на 2, 07 г.

Содержание свинца (Pb) в образце ул. Ульянова уменьшилось на 1,186 г.

Самое большое снижение содержания тяжёлых металлов наблюдалось в образцах БМЗ (Cr), БМЗ (Pb), Бежицкая сталь (Hg)

## Заключение

В ходе проведенных лабораторно-химических анализов было выявлено повышенное содержание тяжелых металлов, таких как свинец, ртуть, кадмий, хром, в почвах, располагающихся вблизи точек загрязнения окружающей среды города Брянска, которыми являются ОАО «Брянский машиностроительный завод», ООО «Бежицкий сталелитейный завод», полигон ТБО в поселке Большое Полпино, автомобильная дорога по улице Рылеева с менее интенсивным движением, автомобильная дорога по улице Ульянова с более интенсивным движением. Самое большое содержание тяжелых металлов наблюдается в образцах, взятых на предприятиях ООО «Бежицкий сталелитейный завод» и ОАО «Брянский машиностроительный завод». В них концентрация ртути и свинца значительно превышает не только допустимые значения, но и результаты, полученные в ходе анализа других образцов. Для их отитки применялся биоремедиационный метод, для которого необходимым являлось использование адаптационного и метаболического потенциала цианобактерий, которые были выведены в лаборатории на питательной среде Громова №6. В ходе проведения повторных лабораторно-химических анализов наблюдалось снижение концентрации тяжелых металлов: содержание свинца (Pb) в образце БМЗ уменьшилось на 74,34%; содержание свинца (Pb) в образце Бежицкая сталь уменьшилось на 48,94%; содержание свинца (Pb) в образце ул. Рылеева уменьшилось на 66,67%; содержание свинца (Pb) в образце ул. Ульянова уменьшилось на 45,62%; содержание ртути (Hg) в образце Бежицкая сталь уменьшилось на 40,1%; содержание кадмия (Cd) в образце полигон ТБО уменьшилось на 26,07%; содержания хрома (Cr) в образце БМЗ уменьшилось на 72,8%. Больше всего содержание поллютантов уменьшилось в образцах ОАО «Брянский машиностроительный завод», ООО «Бежицкий сталелитейный завод».

## Список использованной литературы

1. Организация Объединенных наций [Электронный ресурс] <https://www.un.org/ru/>
2. Почвенная среда обитания [Электронный ресурс] <https://animals-wild.ru/biologiya/2153-pochvennaya-sreda-obitaniya.html>
3. Биоремедиация [Электронный ресурс] <https://ru.m.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%B8%D0%BE%D1%80%D0%B5%D0%BC%D0%B5%D0%B4%D0%B8%D0%B0%D1%86%D0%B8%D1%8F>
4. География. Почва. [Электронный ресурс] <https://geographyofrussia.com/pochva/>
5. О химическом составе почв как показателе экологического состояния почв [Электронный ресурс] <https://shn.tatarstan.ru/index.htm/news/752474>
6. С чем связано и чем опасно загрязнение почвы тяжелыми металлами [Электронный ресурс] <https://bezotxodov.ru/zagrzaznenenija/zagrzaznenie-pochvy-tjzhelymi-metallami#i-11>
7. Загрязнение окружающей среды при производстве [Электронный ресурс] <https://www.unep.org/ru/novosti-i-istorii/istoriya/zagryaznenie-pochvy-ugrozhaet-nashemu-zdorovyu-i-prodovolstvennoy>
8. Выхлопные газы автотранспорта как источник загрязнения почвы [Электронный ресурс] <https://www.eurolab.ua/encyclopedia/3863/34349/>
9. Виды воздействия, оказываемого полигонами ТБО на почвенный покров прилегающих территорий [Электронный ресурс] [https://ozlib.com/1043593/agro/vidy\\_vozdeystviya\\_okazyvaемого\\_poligonami\\_pochvennyy\\_pokrov\\_prilegayuschih\\_territoriy](https://ozlib.com/1043593/agro/vidy_vozdeystviya_okazyvaемого_poligonami_pochvennyy_pokrov_prilegayuschih_territoriy)
10. Брянск – промышленность города, предприятия и заводы Брянска [Электронный ресурс] <https://metaprom.ru/regions/bryansk.html>
11. У каждого четвертого жителя Брянска есть своя машина – администрация [Электронный ресурс] <https://gorodbryansk.info/2019/05/auto-11/>
12. Мусорные полигоны в Брянске и Брянской области [Электронный ресурс] <https://vyvoz.org/bryansk/poligony-otkhodov>
13. Биоремедиация почв [Электронный ресурс]

<https://studfile.net/preview/5865387/page:21/>

14. Биоремедиационный способ как наиболее эффективный метод очистки-  
Международный студенческий научный вестник

[Электронный ресурс]

<https://eduherald.ru/ru/article/view?id=18735>

15. Биология цианобактерий [Электронный ресурс]

<http://iweb.vyatsu.ru/document/material/49/06.04.01>

16. Химический анализ почв. Методические указания для проведения лабораторных  
занятий [Электронный ресурс]

[Luganskaya V.D., Luganskii V.N. Himicheskii analiz pochv.pdf](#) (usfeu.ru);

<https://docs.cntd.ru/document/1200078918>

17. Культивирование микроскопических зеленых водорослей и цианобактерий  
коллекции CALU СПбГУ [Электронный ресурс]

<https://researchpark.spbu.ru/methods-km-rus/233-metodiki-km1-rus/2357-km-meth-04>

18. Глава 1. Глобальные последствия влияния человека на биосферу [Электронный  
ресурс]

<https://studfile.net/preview/8953447/page:3/>

19. 77-е Дни науки НИТУ «МИСИС». Сборник тезисов дней науки. международные,  
межвузовские и институтские научно-технические конференции. Книга 3. С. 1291

20. Виды почв – классификация почв [Электронный ресурс]

<https://gruntovozov.ru/chasto-zadavayemiye-voprosy/vidyi-pochv-klassifikatsiya/>

21. Классы опасности тяжелых металлов [Электронный ресурс]

<https://studfile.net/preview/2043444/page:2/>

22. Классификация методов и технологий ремедиации - Системы защиты среды  
обитания [Электронный ресурс]

[https://bstudy.net/669642/bzhd/klassifikatsiya\\_metodov\\_tehnologiy\\_remediatsii](https://bstudy.net/669642/bzhd/klassifikatsiya_metodov_tehnologiy_remediatsii)

23. Загрязнение почвы: причины, последствия, решение проблемы

[Электронный ресурс]

<https://dominanta39.ru/problemy-ekologii/razrushenie-pochvennogo-pokrova-zemli.html>

24. Охотник за микробами. Методические рекомендации и инструкции. Книга 1. С. 25

25. Международный Зелёный Крест [Электронный ресурс] <https://greencross.org.ru/>

26. Всероссийское общество охраны природы [Электронный ресурс] <https://voop-rf.ru/>

## Приложение

№	Описание	фото
1	Полученный осадок, содержащий тяжелый металл свинец ( $PbI_2$ ) из образца БМЗ	
2	Полученный осадок, содержащий тяжелый металл свинец ( $PbI_2$ ) из образца Бежицкая сталь	
3	Полученный осадок, содержащий тяжелый металл свинец ( $PbI_2$ ) из образца ул. Рылеева	
4	Полученный осадок, содержащий тяжелый металл свинец ( $PbI_2$ ) из образца Ул. Ульянова	
5	Полученный осадок, содержащий тяжелый металл кадмий ( $Cd(OH)_2$ ) из образца Полигон ТБО	
6	Полученный осадок, содержащий тяжелый металл хром ( $Cr(OH)_2$ ) из образца БМЗ	
7	Полученный осадок, содержащий тяжелый металл ртуть ( $Hg(OH)_2$ ) из образца Бежицкая сталь	
8	Почвенные выжимки	
9	Полученные цианобактерии	

10	Питательная среда Громова 6	
11	Процесс биоремедиации	

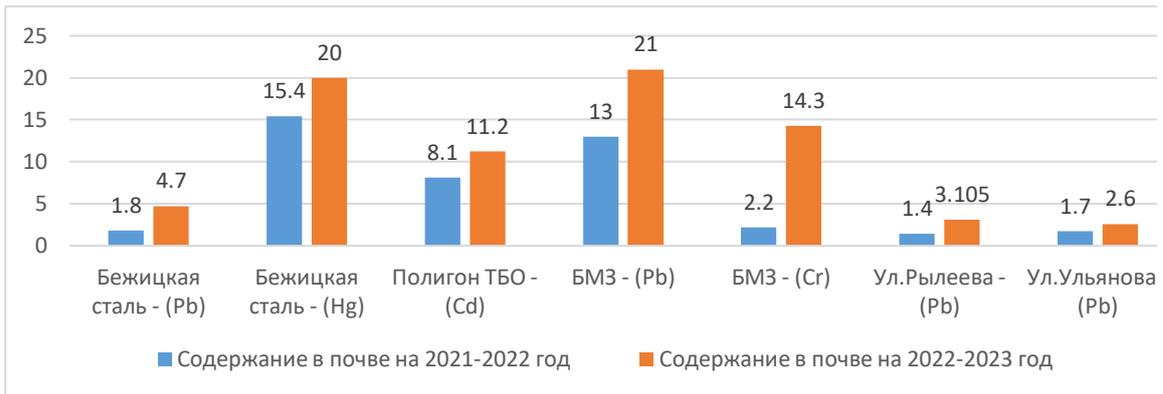


Диаграмма 1. Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов

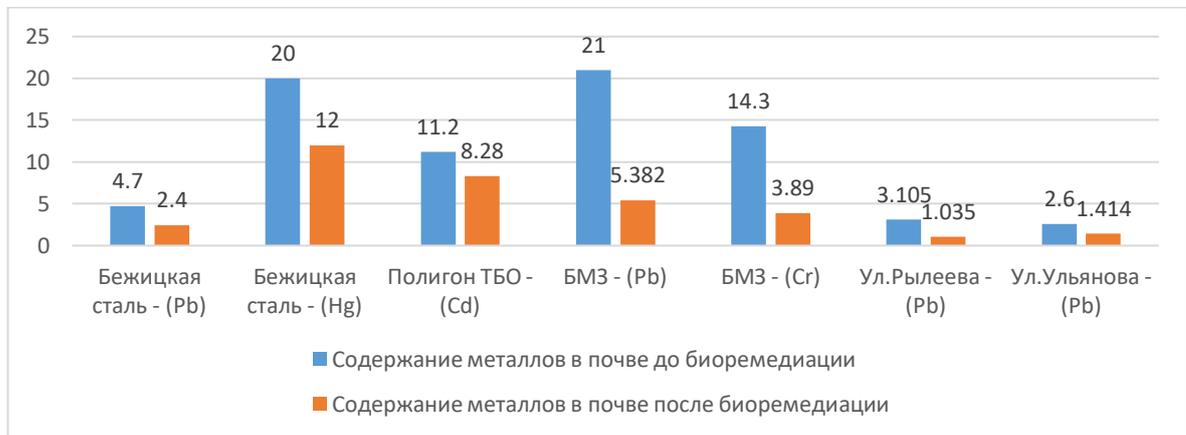


Диаграмма 2. Сравнительный анализ содержания тяжелых металлов до и после биоремедиации