

МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Астраханский государственный университет»
(Астраханский государственный университет)

кафедра философии

РЕФЕРАТ

для сдачи кандидатского экзамена
по истории и философии науки

на тему: «Философские проблемы разработки технологий и
применения методов биоремедиации почв, загрязненных соединениями
тяжелых »

Ф.И.О: Мерхави Кидане Цегай

Кафедра: Биотехнологии, зоологии и аквакультуры

Астрахань – 2021 г

Содержание

Предисловие.....	1
1. Введение	3
2. Почва, ее состав и загрязнение.....	4
2.1 Характеристики почвы	5
2.2 Технологические проблемы	6
3. Тяжелые металлы	6
3.1 Общие токсичные тяжелые металлы.....	7
4. Взаимодействие микробов с металлами	9
4.1 Микробы	11
5. Биовосстановление почвы.....	12
5.1 Биовосстановление на месте (In-Situ)	13
5.2 Биовосстановление внезагрязненного участка (Ex-Situ).....	14
5.3 Процесс биоремедиации загрязненных почв.....	15
5.4 Фиторемедиация.....	16
6. Экономические преимущества биовосстановления	17
7. Методологии биоремедиации.....	18
8. Заключение	19
9. Список литературы	21

Предисловие

Сегодня население мира растет в геометрической прогрессии, а вместе с ним и потребности жизни. Спрос населения должен удовлетворяться за счет интенсивных технологий и индустриализации (Aroga, Singh and Singh, 2017). Этот огромный рост урбанизации и динамика численности населения сформировали большое количество отраслей, выбрасывающих токсичные отходы в окружающую среду, в основном в почву и воду (Canyon Hydro *et al.*, 2013) Массовые выбросы загрязняющих веществ, особенно тяжелых металлов, в почвы и воды являются главной проблемой для здоровья во всем мире, поскольку они не могут быть разделены на безвредные формы и, таким образом, оказывают долгосрочное воздействие на экосистему. Многие из них токсичны даже при очень низких концентрациях, они не только цитотоксичны (убивают клетки), но также обладают канцерогенными (вызывают язвы) и мутагенными (вызывают мутации) по своей природе (Dixit *et al.*, 2015). Тяжелые металлы имеют широкий спектр технологических применений в сельском хозяйстве, бытовом, промышленном, медицинском, фармацевтическом и технологическом аспектах, что приводит к их широкому распространению в окружающей среде. Основные угрозы для флоры, фауны и здоровья человека, связанные с наиболее токсичными металлами в окружающей среде, - это мышьяк (As), кадмий (Cd), хром (Cr), свинец (Pb), ртуть (Hg) и серебро (Ag) согласно обзору Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ). Тяжелые металлы наряду с другими загрязнителями, такими как ядерные отходы, пестициды, парниковые газы и токсичные углеводородные химические вещества, удобрения, шлам, навоз, атмосферные выбросы и т.д. являются обычными технологическими загрязнителями почвы, донных отложений, воды и воздуха (Jain N, H and S, 2012) . Слепая гонка индустриализации уже давно загрязняет окружающую среду, и только тогда, когда эта безудержная гонка ограничила до заметного уровня такие природные ресурсы, как питьевая вода, пахотные земли и чистый воздух, привлекла внимание экологов. общественный спрос на экологические методы, снижающие загрязнение, и растущий спрос на восстановление загрязненных участков. Защита здоровья человека и окружающей среды от промышленного загрязнения является сегодня социальной обязанностью (Arquitectura *et al.*, 2015). Таким образом, необходимость восстановления и сохранения наших экосистем является моральным требованием. Обычно окружающая среда способна разлагать загрязняющие вещества, которые попадают в нее через биологические и биохимические процессы, хотя быстрый технический прогресс привел к загрязнению, которое часто намного превышает естественную деградацию, и, поскольку такие загрязнители имеют тенденцию накапливаться со временем. Таким образом, эту глобальную проблему

необходимо решать совместными усилиями научных сообществ (Ашихмина *et al.*, 2018). Целью данной исследовательской работы является анализ осуществимости биовосстановления, экологически безопасного восстановления почв, загрязненных тяжелыми металлами, в частности Pb, Cr, As, Cd, Cu и Hg и исследуют некоторые стратегии устойчивой защиты и сохранения экосистемы и вносят свой вклад в текущие глобальные усилия.

1. Введение

Загрязнение окружающей среды - одна из наиболее часто поднимаемых проблем из всех мировых проблем, и тем не менее во многих отношениях она часто остается одной из наименее понятых или согласованной ситуации, потому что люди по-прежнему заботятся о своей прибыли, а не об удалении отходов. к окружающей среде, потому что они предполагают, что эффект или стоимость их действий являются общим аспектом. Более того, когда обсуждается загрязнение окружающей среды, умы большинства людей склонны к выбросам ископаемых, топлива и углерода, но все же есть много различных факторов, способствующих. Загрязнение окружающей среды означает выброс любого загрязняющего вещества в любую окружающую среду (воздух, водная почва) от любого процесса с веществами, которые способны причинить вред человеку или любым другим живым организмам, поддерживаемым окружающей средой (Е.Р.А., 1997).

Хотя общепринятой классификации загрязнения не существует, она может быть сделана на другой основе, например химические вещества (углекислый газ тяжелых металлов, СFC и т. д.) или физическая природа (тепло, шум, ионизирующая энергия и т. д.) вещества, его источник (точечное загрязнение или загрязнение из открытых источников), используемый экологический путь (загрязнение воздуха, воды или почвы), пораженный организм-мишень или просто его общий эффект и т. д. (Rittmann, 2006). Загрязнение - это взаимосвязанная основная проблема, например, автомобили загрязняют воздух, но они обеспечивают транспортировку товаров и людей, промышленность и фабрики наносят ущерб природным ресурсам; воздух, вода и земля, но они обеспечивают людей рабочими местами и производят огромные потребности человека, удобрения и пестициды важны для повышения урожайности, но они могут разрушить почву. Таким образом, должны ли люди прекратить использовать многие виды деятельности по поддержанию жизни людей, если они хотят немедленно положить конец загрязнению?

Хотя все формы загрязнения становятся серьезной экологической проблемой, но загрязнение почвы тяжелыми металлами, в частности, является еще более тихим реальным вопросом во всем мире. Из-за этих экологических проблем и связанной с ними токсичности с химическими загрязнителями (тяжелыми металлами) было предпринято множество попыток борьбы с ними. Эти методы варьируются от простого физического удаления (захоронение) до более дорогостоящих методов обработки, таких как химическое осаждение, мембранная фильтрация, ионный обмен, и сжигание с адсорбцией

углерода (Mohapatra *et al.*, 2019). Обычно такие обработки, несмотря на то, что они слишком дороги, не удаляют загрязняющие вещества полностью или могут оставлять токсичные остатки, которые могут потребовать других мер. Загрязнение почвы по-прежнему растет тревожными темпами из-за чрезмерного количества людей. произведенные (антропогенные) виды деятельности, такие как добыча полезных ископаемых, выплавка, агропромышленность, удаление отходов и промышленные сбросы (Jain *et al.*, 2018), а также естественные поступления отходов (биогенные и геохимические) по сравнению с усилиями по удалению.

2. Почва, ее состав и загрязнение

Является одним из природных ресурсов, поддерживающих всю жизнь и хозяйственную деятельность. Его экономическая роль была известна еще со времен древней цивилизации для выращивания сельскохозяйственных культур. Хотя почва играет особенно важную роль в сельском хозяйстве, она также служит местом обитания для различных форм жизни. Однако агросистемы уязвимы для всех природных или антропогенных нарушений, таких как эрозия, органическое или неорганическое загрязнение (Kouchou *et al.*, 2017). Качество жизни на Земле связано с общим качеством окружающей среды. Определить качество почвы очень сложно, поскольку состав почвы может варьироваться от места к месту, его качество зависит не только от компонентов и состава почвы, а также от того, как она функционирует в определенной среде (Garbisu and Alkorta, 2003). Общеизвестно, что к основным функциям почвы относятся способность защищать качество воды и воздуха, способность поддерживать продуктивность растений и животных, а также способность укреплять здоровье человека. Почва - это суть жизни, она (земля) считается матерью всех живых систем, обитающих на ней. Таким образом, поддержание благополучия почвы является поддержанием благополучия средств к существованию на планете, потому что, если почва загрязнена, значит, она живет на своей спине за счет проглатывания (растения, растущие на загрязненной почве) вдыхание (частицы сухой пыли), биоаккумуляция, питьевая вода (фильтрат) и т. д., которые могут привести к серьезным последствиям для здоровья.

2.1 Характеристики почвы

Почва - это разные вещества с точки зрения физических, химических и биологических характеристик и компонентов. Такая неоднородность возникает как на микро, так и на макроуровне во всех трех измерениях. Загрязняющие вещества по-разному взаимодействуют с каждым из его компонентов, и, следовательно, влияние антропогенной деятельности на экосистему широко варьируется (Saha *et al.*, 2017). Буквально почва - это слой рыхлого материала на верхней поверхности земли, способный поддерживать жизнь. Большинство почв содержат четыре основных компонента: минеральные частицы, воду, воздух и органическое вещество. Почвы представляют собой пористую среду, созданную на поверхности земли в результате процессов выветривания, опосредованных биологическими, геологическими и гидрологическими явлениями в течение многих лет. Свойства почвы могут варьироваться от места к месту в зависимости от просто выветрившейся породы, состава коренных пород, климата и других факторов (Call, 1892). Обычно почвы можно рассматривать как сложную трехмерную структуру, состоящую из уплотненных агрегатов и поровых пространств. Агрегаты содержат кластеры минеральных частиц и органического углерода, в которых силы, удерживающие частицы вместе внутри агрегата, намного сильнее, чем силы между соседними агрегатами, заставляя структуры выдерживать физические и механические разрушения массивного грунта. Эти агрегаты собираются иерархически, чтобы составить единое целое. сети частиц и пустот, которые часто соединяются во время увлажнения, что, в свою очередь, создает переменный поток воды и питательных веществ, к которым могут получить доступ почвенные организмы. Агрегаты почвы классифицируются как микроагрегаты (<250 мкм) или макроагрегаты (от 0,25 до 2 мм).), самоорганизуются из глин, карбонатов и других минеральных частиц, полученных из выветрившейся породы, и связаны вместе за счет сочетания электростатических взаимодействий и инкрустированного органического вещества (Wilpiseski *et al.*, 2019). Количество компонентов почвы, таких как минералы, микробы и другие вещества также различаются и могут превышать рекомендуемые уровни для здоровья человека, животных, или растения. Некоторые из компонентов почвы могут встречаться в почвах естественным образом, но при некоторых концентрациях могут быть токсичными. Другие потенциально вредные вещества могут попасть в почвы в результате деятельности человека. На свойства почвы влияет прошлое землепользование, текущая деятельность на участке и близость к источникам загрязнения. В результате деятельности человека в почву были намеренно добавлены такие вещества, как пестициды, удобрения и другие добавки, случайные разливы и утечки химикатов, используемых в коммерческих или промышленных целях, также были источниками

загрязнения. Некоторые загрязнители перемещаются по воздуху и осаждаются в виде пыли или осадков (Shayler, McBride and Harrison, 2009).

2.2 Технологические проблемы

Основная проблема, связанная с загрязнением почвы, заключается в том, что многие отрасли промышленности рассматривают почву как очевидную площадку для захоронения отходов, сбрасывая большое количество опасных веществ, таких как нефть, нефтесодержащие шламы с нефтеперерабатывающих заводов; растворители и хлорированные углеводороды из чистящей, полиграфической и многих других отраслей; радионуклиды от атомных электростанций и объектов ядерного оружия; каменноугольные смолы с станций газификации городов; креозот из деревообрабатывающих предприятий; пестициды из сельского хозяйства и т. д. Огромные количества опасных веществ, небрежно удаляемые в окружающую среду, создают огромные проблемы загрязнения почв и водоемов по всему миру. Некоторые из них настолько сильно загрязнены, что признаны объектами Суперфонда (Atlas, Philp and Philp, no date). С конца 20 века растет осознание того факта, что почва является важным, в значительной степени невозобновляемым и очень сложным природным ресурсом, однако он все еще разрушается из-за эгоизма многих людей. Хотя в целом исследование качества почвы сталкивается с серьезной технологической проблемой, был предпринят ряд действий для оценки, устранения и уменьшения воздействия загрязняющих веществ на почвы, требуются подходящие и стандартизированные стратегии мониторинга и восстановления почвы. В этом смысле в последнее десятилетие все большее внимание уделялось использованию остатков и отходов, возникающих в результате различных промышленных операций, в нескольких технологиях рекультивации с целью очистки загрязненной почвы (Saha *et al.*, 2017).

3. Тяжелые металлы

Обычно термин «тяжелый металл» относится к тем металлам из периодической таблицы, удельный вес которых превышает 5 г / см³ или имеет атомный номер более 20, за исключением щелочных и щелочноземельных элементов (Ашихмина *et al.*, 2018). Среди 90 элементов, встречающихся в природе, есть 21 неметалл, 16 легких металлов и 53 тяжелых металла (включая As). Тяжелые металлы - это элементы с переменной валентностью и с неполностью заполненными d-орбиталями ((Багаева, Ионова and Надеева, 2013). Способность катионов тяжелых металлов образовывать комплексы, которые могут иметь или не обладать окислительно-восстановительной активностью, обеспечивается d-орбиталями. Наиболее распространенные тяжелые металлы, связанные с

риском для здоровья, обнаруженные в загрязненной почве, в порядке их содержания: Pb, Cr, As, Zn, Cd, Cu и Hg, а также в зависимости от их токсичности As, Cd, Cr, Pb, Hg и Ag имеют высший приоритет с точки зрения последствий для растений, фауны и общественного здравоохранения. Токсические проявления зависят от дозы, пути воздействия, химических видов, генетики и статуса питания людей, подвергшихся воздействию. Эти металлы важны, поскольку они способны снизить урожайность сельскохозяйственных культур из-за риска биоаккумуляции и биоусиления в пище. цепь. Существует также риск загрязнения поверхностных и подземных вод, а также жизни человека ((Wuana and Okieimen, 2011). Многие тяжелые металлы играют важную роль в жизненных процессах микробов. Например, металлы, такие как хром (Cr), кальций (Ca), магний (Mg), марганец (Mn), медь (Cu), натрий (Na), никель (Ni) и цинк (Zn), необходимы в качестве питательных микроэлементов). в низких концентрациях для различных метаболических функций и окислительно-восстановительных функций. Другие, такие как кадмий (Cd), ртуть (Hg), алюминий (Al), золото (Au) и серебро (Ag), не сообщили о какой-либо биологической роли, они несут незначительную и потенциально токсичную (Boyd, 2018). Существует много сообщений о риске для здоровья человека, связанном с тяжелыми металлами, связанными с употреблением измельченных овощей, таких как огурец, репа, тыква, горькая тыква, цветная капуста, баклажан, перец чили, кориандр, тыква, окра, салат, шпинат и бисквитная тыква (Sherameti and Varma, 2010). Согласно (Aroga, 2017) , основными последствиями для здоровья человека являются раздражение желудка и кишечника, неврологические осложнения, гипертония и дисфункция печени и почек (Cu), рак, дыхательная недостаточность, врожденные дефекты, аллергия, дерматит, экзема, нервная система. системная и сердечная недостаточность (Ni), пловизм, центральная нервная система (Pb), отравление кожи (As) и т. д.

3.1 Общие токсичные тяжелые металлы

Мышьяк (As): это хорошо задокументированный канцероген, поражающий миллионы людей, он имеет ионный характер, образуя катионные и анионные соединения, и стабилен в степенях окисления -III, 0, + III и + V, а также в состояниях окисления + III и + V. чрезвычайно токсичны.

Кадмий (Cd): образуется в виде побочного продукта при очистке металлов, например, цинка и сельскохозяйственных стоков, при добыче полезных ископаемых или переработке аккумуляторов. Эффект Cd был обнаружен как эпидемия болезни костей итаи-итай в Японии во время Риск Cd связан с поглощением растениями, накоплением в тканях животных и увеличением содержания в почве и воде из антропогенных источников.

Считается, что механизм отравления кадмием нарушает механизм распознавания металлов клеткой, вызывая сбой в его работе и откачивание неправильных ионов металла, включая основные элементы. Допустимый предел содержания кадмия в воде составляет 3 мкг / л, а в воздухе - 5 нг / м³.

Хром (Cr): является ведущим загрязнителем окружающей среды и существует в двух формах окисления: Cr (III) и Cr (VI), но Cr (VI) считается более токсичным, поскольку он хорошо растворим, подвижен и проникаем. в виде хромитовых (FeOCr₂O₃) руд в воздухе, воде, почве и пище. Попадает в почву и воду в результате эрозии и извержений вулканов. Его концентрация в почве колеблется от 1 до 300 мг / кг, в морской воде от 5 до 800 мкг / л, а в реках и озерах от 26 мкг / л до 5,2 мг / л, предлагаемый допустимый предел составляет 2 мг / л.

Свинец (Pb): естественно существует вместе с другими элементами, образующими различные минералы. Он очень токсичен и долговечен, его основными источниками являются краски, бензин, системы водоснабжения и автомобили. Загрязнение почвы свинцом может быть вызвано соскабливанием, сколами и атмосферными воздействиями на краске. Загрязнение Pb водой также происходит через Pb трубы или соединители, Pb припой, пары, латунную арматуру, резервуары, покрытые Pb, и водоохладители. Длительное воздействие Pb вызывает анемию, ухудшение репродуктивной функции, почечную недостаточность и нейродегенеративные заболевания. Уровень свинца 10 мкг / дл в крови человека может быть фатальным.

Ртуть (Hg): это естественный белый, блестящий жидкий металл без запаха, который обычно встречается в виде нерастворимой руды HgS. Hg₀ стабильна при определенной температуре и давлении в жидком состоянии с высоким содержанием летучих одноатомных атомов. Ртуть используется в батареях, переключателях, термостатах, электродах и медицинских устройствах, а также в качестве амальгамы (Hg – Ag) для восстановления зубов. Если ртутные вещества потребляются микроорганизмами, они образуют метил Hg и подвергаются биоаккумуляции в водной среде. Hg является нейротоксичным соединением, люди подвергаются воздействию метил Hg через потребление водных животных, загрязненных Hg (Mohapatra *et al.*, 2019) and (García F *et al.*, 2018).

4. Взаимодействие микробов с металлами

Биодоступность тяжелых металлов в значительной степени зависит от экологической ситуации (например, pH, щелочности, окислительно-восстановительного потенциала) и активности микроорганизмов, и они не могут быть рассеяны в процессах метаболизма и // / или совместного метаболизма микробов. неорганическая валентность изменяется в результате окислительно-восстановительных реакций. Микробы могут мобилизовать металлы, выделяя кислоты, такие как лимонная кислота, серная кислота, путем окислительно-восстановительных реакций и путем образования комплексообразующих (хелатирующих) агентов. Редокс-реакции играют важную роль в большинстве методов биоремедиации. Эти реакции могут протекать через механизмы прямого или косвенного восстановления. Правило восстановительной биотрансформации (прямого восстановления) тяжелых металлов зависит от снижения подвижности и токсичности, когда металлы восстанавливаются до более низкого окислительно-восстановительного состояния, восстанавливающие металлы микробы используют окисленные образуют металлы, такие как Cr(VI), U(VI), Hg (II), Se (VI)) в качестве акцепторов электронов и превращают их в их восстановленные частицы (Cr(III), U(IV), Hg(0), Se(IV)). Наиболее активными восстановленными продуктами являются Fe (II) и H₂S. Fe (II) используется в качестве донора электронов при восстановлении Cr(VI) до Cr(III) Fe-восстанавливающими бактериями, такими как “*Geobacter* , *Desulfuromonas*, *Shewanella* и *Pelobacter*” ((Boyd, 2018). Также устойчивая к ртути *Acidithiobacillus ferrooxidans* SUG 2-2 может восстанавливать ион ртути (Hg²⁺) с двухвалентным железом в качестве донора электронов в кислых условиях с образованием улетучиваемой металлической ртути) (Aoki, 2003) . *Marinomonas communis* - первый негенетически созданный мощный As-аккумулятор тинг бактерии, накапливающие 2290 мкг As / г (сухой вес). Многие γ-протеобактерии и Firmicutes, выделенные из пораженных As области, продемонстрировали способность окислять арсенит до арсената, а также восстанавливать арсенат до арсенита (Mohapatra *et al.*, 2019).

Микробные сообщества представляют собой самоорганизующуюся и самоподдерживающуюся группу различных микроорганизмов. При правильном управлении в экологической биотехнологической среде микробные сообщества могут предоставлять непрерывные надежные огромные услуги, такие как детоксикация загрязненной воды, сточных вод, ила. , осадок, почва; захват возобновляемых ресурсов: энергии (биогаз) и воды, а также обнаружение загрязнителей или патогенов (биодатчики) в окружающей среде. Микробиологические процессы, такие как обработка сточных вод

активным илом и анаэробное сбраживание ила, осуществлялись почти в течение века с широким и широким использованием, хотя микробиологические основы были плохо изучены. Однако огромные улучшения стали возможны, когда были исследованы микробиологические и экологические принципы. Необычайной иллюстрацией является биологическое удаление питательных веществ, при котором циклическое переключение микробного сообщества через ряд аэробных, аноксических и анаэробных этапов позволяет полностью удалить азот (N) и фосфор (P) из сточных вод (Rittmann, 2006). Недавно была обнаружена способность определенных микробов и некоторых растений разлагать органические загрязнители на безвредные компоненты как средство биологической обработки загрязненной окружающей среды, что является основой для развивающейся области биоремедиации сегодня. Это наиболее экономичный и устойчивый подход к преодолению этого жизненно важного кризиса. разработан на основе достижений в междисциплинарной науке, экологической биотехнологии, биовосстановлении. Причины для контроля загрязнения и рассмотрения биоремедиации - это озабоченность общественным здоровьем, охрана окружающей среды, стоимость дезактивации (Atlas, Philp and Philp, no date). Биоремедиация зависит от наличия определенных микроорганизмов в идеальных количествах и разнообразии, а также от благоприятных условий окружающей среды. Микроорганизмы, уже живущие в загрязненной окружающей среде, хорошо приспособлены к тому, чтобы справляться с существующими загрязнителями и условиями роста окружающей среды (температура, pH и окислительно-восстановительный потенциал) участка. Эти местные микробы, как правило, утилизируют доступные питательные вещества и акцепторы электронов при наличии жидкой воды. Вода необходима для подвижности как микроорганизмов, так и растворенных веществ, включая загрязнители и продукты их распада (Никовская and Калиниченко, 2014).

Общие микроорганизмы, участвующие в биодеградаци в различных средах, идентифицированы как микробные консорциумы, примеры включают: *Acinethobacter*, *Actinobacter*, *Acaligenes*, *Arthrobacter*, *Bacillins*, *Berijerinckia*, *Methylosinus*, *Flavobacterium*, *Mycrobacterium*, *Mycococcus*, *Nitrosomonas*nero, *Nocillium*, *Trametes* и *Xanthofacter*. Микроорганизмы по отдельности не могут минерализовать большинство опасных соединений. Полная минерализация приводит к последовательной деградации консорциумом микроорганизмов и включает синергизм и совместный метаболизм. Природные сообщества микроорганизмов в различных средах обитания обладают удивительной физиологической универсальностью, они способны метаболизировать и часто

минерализовать огромное количество органических молекул. Определенные сообщества бактерий и грибов метаболизируют множество молекул, которые могут быть разложены, что неизвестно, но известно, что тысячи разрушаются в результате микробной активности в той или иной среде (Pandey and Fulekar, 2012). Примеры микроорганизмов, особенно вовлеченных в тяжелые металлы, включают *Saccharomyces cerevisiae* (тяжелые металлы, свинец, ртуть и никель), "*Cunninghamella elegans*, *Pseudomonas fluorescens* и *Pseudomonas aeruginosa* (Fe^{2+} , Zn^{2+} , Pb^{2+} , Mn^{2+} и Cu^{2+}), *Lysinibacillus sphaericus*, медь, *Aspergium* и медь. *versicolor*, *A.fumigatus*, *Paecilomyces* sp., *Paecilomyces* sp., *Terichoderma* sp., *Microsporium* sp. , *Cladosporium* sp. *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas* sp. (U, Cu, Ni, Cr), *Aerococcus* sp. , *Rhodopseudomonas palustris* (Pb, Cr, Cd)" (Colin, Villegas and Abate, 2012).

4.1 Микробы

Согласно Jain et.al (2014), микробы, разлагающие загрязнители, можно классифицировать как:

(а) Аэробные: микробы, которые могут выживать и расти в насыщенной кислородом среде (для дыхания требуется кислород). Распространенными примерами аэробных бактерий, известных своей способностью к разложению, являются *Pseudomonas*, *Alcaligenes*, *Sphingomonas*, *Rhodococcus* и *Mycobacterium*. Часто сообщалось, что эти микробы разлагают тяжелые металлы, пестициды и углеводородные соединения. Многие из этих бактерий используют загрязнитель как единственный источник углерода и энергии.

(б) Анаэробные: организмы, которым не требуется кислород для роста, эти анаэробы реагируют отрицательно или даже умирают, если доступен кислород. Они не так часто используются, как аэробные бактерии, для поглощения тяжелых металлов.

(с) Лигнинолитические грибы: такие грибы, как гриб белой гнили *Phanaerochaete chrysosporium*, обладают способностью разлагать чрезвычайно широкий спектр стойких или токсичных загрязнителей окружающей среды. Обычно используются такие субстраты, как солома, опилки или кукурузные початки.

(d) Метилотрофы: аэробные бактерии, которые растут, используя метан для получения углерода и энергии. Первоначальный фермент на пути аэробной деградации, метанмонооксигеназа, имеет широкий диапазон субстратов и активен в отношении широкого диапазона соединений.

Когда микроорганизмы подвергаются воздействию окружающей среды, которая содержит токсичные концентрации стойких элементов или соединений, разрабатываются

специальные механизмы, позволяющие им переносить эти условия. Поскольку не все микроорганизмы способны расти, выживать или переносить любую загрязненную среду, улучшая загрязненные почвы, для каждого вида загрязнителя требуются определенные микроорганизмы. У этих видов есть стратегии адаптации к таким стрессовым условиям в этой среде, развивая различные внутри- и / или внеклеточные механизмы. Примеры включают выделение металлов через транспортные системы и связывание соединений через цитозольные агенты, которые могут связываться с металлом и выводить токсины изнутри клеток.

Биоаккумуляция: осуществляется бактериями и грибами, представляет собой смесь внутри- и внеклеточных механизмов, поскольку она требует метаболической активности живых клеток, включая внутриклеточную секвестрацию, внеклеточную преципитацию, накопление металлов и комплексообразование. Он состоит из двух стадий: независимая от метаболизма пассивная биосорбция (физическая и химическая адсорбция, ионный обмен металлов, хелатирование, координация, поверхностное комплексообразование и микропреципитация) и зависимая от метаболизма активная биоаккумуляция (перенос ионов металлов в микробные клетки, включая комплексную проницаемость, переносчик опосредованные ионные насосы и эндоцитоз). Другими предлагаемыми адаптивными механизмами являются выделение органических кислот для обеспечения растворимости металлов и развитие механизмов цитоплазматической защиты через тельца включения, которые удерживают большое количество катионов металлов, биоминерализация (Prasad, 2018)

5. Биовосстановление почвы

Биоремедиация - технология, в которой используются живые организмы и / или их продукты, такие как бактерии, грибы, водоросли и растения, для удаления опасных отходов с загрязненных территорий. Это прогресс, и яркая технология может применяться для удаления тяжелых металлов и восстановления тяжелых металлов. загрязненные почвы и другие природные ресурсы. Микроорганизмы выработали различные стратегии выживания в среде, загрязненной тяжелыми металлами. Они разработали и внедрили различные процессы детоксикации, например биосорбцию, биоаккумуляцию, биотрансформацию и биоминерализацию. Несмотря на стремление применять технологии биоремедиации для решения экологических проблем, значительные исследования и достаточная доступность ресурсов, это не стало обычной практикой, тем не менее, более дорогие технологии, казалось, получили все большее распространение. Их ограниченное

количество упражнений подчеркивает необходимость улучшения обучения и развития экологически чистых ресурсов ((Dixit *et al.*, 2015).

5.1 Биовосстановление на месте (In-Situ)

Включает обработку органических загрязнителей в естественных условиях на первоначально загрязненных участках без перемещения, но может потребовать дополнения загрязненных почв питательными веществами, чтобы стимулировать рост местных микроорганизмов в их способности разлагать загрязнители, или генетически модифицированные микроорганизмы могут быть добавлены в окружающую среду для разложения. Этот метод является преимуществом, поскольку он не требует выемки загрязненной почвы и, следовательно, снижает затраты на выемку грунта и транспортировку, минимизирует разрушение участка, строительные материалы и т. д., поэтому количество создаваемой пыли и загрязнение близлежащих участков составляет также возможна меньшая и одновременная обработка почвы и грунтовых вод. Однако он также имеет некоторые недостатки, так как метод требует много времени и изменения факторов окружающей среды, сезонные колебания микробной активности из-за прямого воздействия на них невозможно контролировать. Биоремедиация на месте включает в себя такие методы, как биоразбрасывание: нагнетание воздуха под давлением ниже уровень грунтовых вод для увеличения концентрации кислорода в подземных водах и ускорения биологического разложения загрязняющих веществ естественными бактериями. Он увеличивает перемешивание в насыщенной зоне и тем самым увеличивает контакт между почвой и грунтовыми водами, биовентиляция стимулирует естественное биоразложение любых аэробно разлагаемых соединений в “NAPL” в почве, обеспечивая кислород существующим почвенным микроорганизмам. Он использует низкие скорости воздушного потока, чтобы обеспечить достаточное количество кислорода для поддержания микробной активности. Кислород чаще всего доставляется путем прямого нагнетания воздуха в остаточные загрязнения почвы через колодцы, а биоаугментация - путем введения группы природных штаммов микробов или генно-инженерного варианта для обработки загрязненной почвы или воды. Он обычно используется при очистке городских сточных вод для перезапуска биореакторов с активным илом (Jain N, H and S, 2012).

5.2 Биовосстановление незагрязненного участка (Ex-Situ)

Материал, подлежащий биовосстановлению, выкапывается и транспортируется на участок обработки с исходного загрязненного участка для обработки в другом месте, чтобы легче поддерживать надлежащие условия процесса биоремедиации (Imeson, 1992) но принцип тот же, встречающийся в природе. микроорганизмы расщепляют опасные вещества на менее токсичные или нетоксичные вещества с помощью различных механизмов, таких как окисление, восстановление, улетучивание, минерализация и т. д. Методы биовосстановления ex-situ включают:

Биологическая куча: которая включает в себя надземную навалку вынудой загрязненной почвы с последующей подачей питательных веществ и иногда аэрацию для улучшения биоремедиации за счет увеличения микробной активности. Компонентами этой техники являются: аэрация, орошение, системы сбора питательных веществ и сточных вод, а также лечебная кровать.

Валки: зависят от периодического переворачивания сваи (проб) загрязненной почвы для усиления биоремедиации за счет увеличения активности деградации аборигенных и / или временных углеводородокластических бактерий, присутствующих в загрязненной почве. Периодическое переворачивание загрязненной почвы вместе с добавлением воды приводит к усилению аэрации, равномерному распределению загрязняющих веществ, питательных веществ и микробной деградации, тем самым ускоряя темпы биоремедиации, которая может быть достигнута за счет ассимиляции, биотрансформации и минерализации. Существуют различные режимы работы биореактора, которые включают: периодический, периодический с подпиткой, периодический секвенирование, непрерывный и многоступенчатый. Выбор режима работы в основном зависит от рыночной экономики и капитальных затрат. Условия в биореакторе поддерживают естественный процесс клеток, имитируя и поддерживая их естественную среду, чтобы обеспечить оптимальные условия для роста. Загрязненные образцы можно подавать в биореактор в виде сухого вещества или суспензии; в любом случае использование биореактора для обработки загрязненной почвы имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами биоремедиации ex situ. Превосходный контроль параметров биопроцессов (температуры, pH, скорости перемешивания и аэрации, концентрации субстрата и посевного материала) является одним из основных преимуществ биовосстановления на основе биореакторов. Возможность контролировать и

манипулировать параметрами процесса в биореакторе подразумевает, что биологические реакции внутри могут быть усилены для эффективного сокращения времени биоремедиации, что важно, контролируемой биоаугментации, добавления питательных веществ (Azubuike, Chikere and Okpokwasili, 2016).

Биореактор - это защитный сосуд и устройство, используемое для создания трехфазного режима смешивания: твердого, жидкого и газообразного, для увеличения скорости биоремедиации связанных с почвой и водорастворимых загрязнителей в виде водной суспензии загрязненной почвы и биомассы, способных разлагать целевые загрязнители. В общем, скорость и степень биоразложения в системе биореактора выше, чем в системе *in-situ* или в твердофазных системах, поскольку замкнутая среда более управляема и, следовательно, более управляема и предсказуема. Несмотря на преимущества реакторных систем, есть некоторые недостатки. Загрязненная почва требует предварительной обработки или, в качестве альтернативы, загрязнитель может быть удален из почвы путем промывки почвы или физической экстракции перед помещением в биореактор (Girma, 2015)

5.3 Процесс биоремедиации загрязненных почв

Биоремедиация включает в себя три основных процесса: биотрансформацию, при которой компоненты загрязняющих веществ превращаются в менее или безопасные продукты, биоразложение, при котором образуются более мелкие органические или неорганические молекулы из органических веществ, и минерализация, которая включает полное разложение органических материалов на неорганические соединения, такие как CO₂ или H₂O. Каждый процесс может протекать *in situ* или *ex situ*, а также в аэробных (с кислородом) или анаэробных (без кислорода) условиях. Хотя биоремедиация *ex situ* происходит быстрее, чем *in situ*, из-за перемещения загрязнителей она увеличивает стоимость и увеличивает вероятность прямого воздействия токсичности для общественного работника (Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), 2013).

Борьба с загрязненными участками с помощью биоремедиации доказала свою эффективность и надежность благодаря своим экологическим характеристикам (Azubuike, Chikere and Okpokwasili, 2016). Эффективность биоремедиации зависит от нескольких факторов, таких как природа используемых организмов, преобладающие экологические факторы на загрязненном участке, а также степень загрязнения окружающей среды (Ojuederie and Babalola, 2017). Питательные вещества, микроорганизмы способствуют разложению загрязняющих веществ в зависимости от некоторых определенных форм

азота и фосфора (NH_3 , NO_3^- , NO_2^- , органический азот и ортофосфат, такие как KNO_3 , NaNO_3 , NH_3NO_3 , K_2HPO_4 и MgNH_4PO_4) в виде удобрений, медленно высвобождающихся и олеофильных добавляются для удовлетворения этого требования (C: N: P = 100: 10: 1). Скорость биодegradации микроорганизмами также сильно зависит от роста микробов и их биохимической и ферментативной активности, которая напрямую связана с количеством воды в почве. Достаточное содержание влаги необходимо для транспортировки как молекул растворимого загрязнителя через мембрану микробной клетки посредством абсорбции, так и конечных продуктов разложения, как правило, 25–28% водоудерживающей способности (оптимально 30-80%). Микроорганизмы и ферменты в большинстве своем обладают поведением в зависимости от pH. В некоторых случаях микробные организмы осуществляют деятельность по разложению при оптимальном уровне, близком к нейтральному, в диапазоне от 6,5 до 8,8 ((Saha *et al.*, 2019). Температура 15°C - 45°C, общее содержание тяжелых металлов (2000 ppm), содержание кислорода (10-40%), а также тип почвы. быть с низким содержанием глины или подоконника. Биоремедиация проводится при более низких расходах, температуре и давлении питательных веществ, что требует меньших затрат энергии, чем обычная технология физико-химической обработки. Отрасли, производящие опасные отходы, нашли полезные меры в связи с зарождающейся тенденцией биотехнологической обработки (Pandey and Fulekar, 2012). Конечные продукты эффективной биоремедиации, вода, углекислый газ и / или метан, нетоксичны и могут быть обработаны без вреда для окружающей среды и живые организмы (Usein *et al.*, 2019).

5.4 Фиторемедиация

Он использует растения для извлечения, разложения, сдерживания или иммобилизации загрязнителей в почве, грунтовых водах и других загрязненных средах. Механизмы фиторемедиации, используемые для обработки загрязненной почвы на месте, включают фитоэкстракцию: способность растений поглощать загрязняющие вещества корнями и перемещать их к побегам или листьям, ризодеградация: корни растений поглощают, концентрируют и / или осаждают опасные соединения, особенно тяжелые металлы или радионуклиды из водных растворов, фитодеградация (фитотрансформация); с последующим разложением, минерализацией или метаболизмом самим растением посредством различных внутренних ферментативных реакций и метаболических процессов; фитовулатилизация: улетучивание загрязняющих веществ из растения либо из устьиц листьев, либо из стеблей растений; и фитостабилизация: удержание загрязненных почв и отложений на месте растительностью и для иммобилизации токсичных

загрязнителей в почвах Фиторемедиация лучше всего используется для обработки больших площадей с неглубоким загрязнением. Поскольку высокие уровни загрязнителей могут быть токсичными для растений и препятствовать их росту, фиторемедиацию также лучше всего применять в сочетании с другими методами обработки или использовать в качестве заключительного этапа полировки при восстановлении участков. Примеры растений, используемых в фиторемедиации, включают индийскую горчицу, пенникресс и т. Д. подсолнечник алиссум и некоторые другие. Обычно они эффективны только в верхнем футе почвы из-за их неглубокой корневой системы и, как правило, медленного роста (U.S. Environmental Protection Agency, 2006).

6. Экономические преимущества биовосстановления

Как обсуждается в разделе 5, биоремедиация - это новая инновация, которая может снизить затраты на удаление загрязняющих веществ, поскольку в ней используются естественные процессы и снижается нагрузка на окружающую среду. Высокая стоимость традиционных технологий очистки связана с физическим удалением и использованием дорогих химикатов. Кроме того, на некоторых участках естественные процессы могут продолжаться для удаления или сдерживания загрязнителей без вмешательства человека, и это естественное ослабление приводит к значительной экономии средств. Более того, поскольку методы биоремедиации не наносят вреда окружающей среде по сравнению с традиционными технологиями очистки, затраты на последующую очистку могут быть значительно уменьшены. Затраты на биоремедиации могут быть дополнительно сокращены, без ущерба для ее эффективности, за счет лучшего понимания научных технологий стратегий восстановления и различных вариантов, доступных на разных этапах процесса. Чтобы иметь разумную стоимость биоремедиации, необходим надлежащий анализ и определение проблемы загрязнения, его точного характера и степени. Следующее использование плана восстановления, такого как технико-экономическое обоснование, которое может включать такие факторы, как тип почвы, загрязненное место, характер загрязнения, количество загрязненного материала, время, необходимое для восстановления участка, использование специалистов по восстановлению. Подсчитано, что общие системные затраты для некоторых применений биоремедиации, особенно фиторемедиации, на 50-80% ниже, чем при использовании традиционных технологий.

7. Методологии биоремедиации

Для оценки состояния природных и загрязненных экосистем разработан и активно внедряется широкий спектр быстрых методов биодиагностики, эффективных и достойных внедрения в условиях объекта или в лабораторных условиях. Поиск эффективных биоиндикаторов биологического мониторинга почв осуществляется по показателям количества и биомассы, видового разнообразия почвенных водорослей и цианобактерий; и активность ферментов, позволяющая всесторонне оценить состояние почвенной среды. Разработан метод биотестирования для оценки дегидрогеназной активности цианобактерий, основанный на определении соотношения в популяции живых клеток цианобактерий. Методика количественного учета формазана в клетках цианобактерий с помощью спектрофотометрии находится в стадии разработки (Ашихмина *et al.*, 2018).

В этом эксперименте были взяты образцы почвы, загрязненной тяжелыми металлами, и были проанализированы их физико-химические параметры. Затем образцы были модифицированы для надлежащего роста микробов, таких как pH (6-8), влажность (35%), источники углерода N, P, K и инкубировали в комнате 28 °C. Наконец, каждые три дня образцы будут анализироваться на предмет содержания тяжелых металлов. Анализ почвы на тяжелые металлы были проводиться аналогично работе (Ripin *et al.*, 2014). Дополнительные пробы будут взяты с помощью ручного шнека, хранился в полиэтиленовых пакетах и высушены в духовке при 60 ° C в течение 2 дней с последующим измельчением с помощью ступки и пестика и просеивания с использованием 2 сито мм. Дополнительные образцы были обработанных смесью HNO₃ и H₂O₂ с использованием метода EPA 3050B. Полученный раствор были профильтрован через фильтр с целлюлозной мембраной 0,45 мкм и разбавлен до 10 мл дистиллированной водой, а затем сохранен при 4 ° C перед анализом. Концентрация в расщепляющем растворе, подлежащая определению, либо атомно-абсорбционная спектрометрия (ААС) (поглощение лучистой энергии, производимой специальным источником излучения, атомами в их основном электронном состоянии - один элемент; - многоэлементный анализ (2-6 элементов) широко Индуктивно-связанная плазма с помощью атомно-эмиссионной спектрометрии (ICP-AES) (измеряет оптическое излучение возбужденных атомов с одновременным многоэлементным анализом, широко используемый метод для анализа окружающей среды). Индуктивно-связанная плазма с масс-спектрометрией (ICP-MS) - аргоновая плазма используется в качестве ионного источника.используется для разделения ионов по соотношению их массы к заряду, одновременный многоэлементный анализ - широко применяется; - изотопное определение (Shukla, Singh and Sharma, 2010).

8. Заключение

Загрязнение окружающей среды токсичными тяжелыми металлами постоянно ухудшается из-за технологических разработок, а системные токсиканты, такие как As, Cd, Cr, Pb, Hg и Ag, вызывают серьезные проблемы со здоровьем, например: сердечно-сосудистые нарушения, неврологические и нейроповеденческие расстройства, нарушения развития и репродуктивной функции. аномалии, иммунологические и гематологические нарушения, канцерогенез. Передовые способы контроля токсичных металлов, определение взаимодействия металлов с человеком являются необходимым условием для отслеживания взаимодействия и возможностей удаления металлов из окружающей среды. В настоящее время широко практикуются традиционные методы удаления токсичных металлов, но по разным причинам они не имеют смысла; с экономической точки зрения они слишком дороги, такие как мембранный осмос и фильтрация с обратным осмосом, сжигание и т. д. С экологической точки зрения они неэкологичны, они могут вызвать побочный ущерб с точки зрения эффективности, поскольку они предназначены для удаления чрезмерного количества отходов, которых недостаточно, чтобы справиться со следами. Таким образом, необходимы огромные технологические вложения для манипулирования микроорганизмами, которые будут использоваться в качестве потенциальных кандидатов на восстановление, которые могут быстро адаптироваться к меняющейся вредной среде и использоваться для восстановления токсичных металлов. Огромное количество микроорганизмов и / или их биомассы могут быть исследованы для более эффективных функций при биоремедиации ((Tripathi, Fraceto and Abhilash, 2015) and (Kumar *et al.*, 2015)). Кроме того, с развитием современной науки и появлением специализированных методов эти микробы могут быть генетически модифицированы для достижения требуемой эффективности биоремедиации токсичных металлов. Следовательно, понимание молекулярных аспектов различных микробов необходимо для оптимизации их производства ферментов, метаболических путей и роста. Условия для удовлетворения спроса на удаление токсичных металлов. Кроме того, необходимы глубокие исследования структуры микробных сообществ и метаболического функционирования местных микробных сообществ для улучшения схемы биологической очистки и понимания химии металлов с восстановлением человека и металлов с помощью биологических средств путем определения новых микробных сообществ что станут огромным технологическим скачком на пути к устойчивому развитию. Биоремедиация все еще является незрелой и многообещающей технологией, и ей необходимо определить границы между обещанием и реальностью. Обычно он имеет дело с неоднородной средой, поэтому успешная биоремедиация зависит от междисциплинарного подхода,

включающего многие дисциплины, такие как микробиология, инженерия, экология, геология и химия. Междисциплинарный подход необходим из-за сложности, возникающей в отношении типа и степени загрязнения, а также социальных и юридических вопросов, касающихся наиболее загрязненных участков ((Dixit *et al.*, 2015).

9. Список литературы

Aoki, S. (2003) 'Soil Contamination Countermeasures Law', *Japan Tappi Journal*, 57(10), pp. 1475-1493,021. doi: 10.2524/jtappij.57.1475.

Arora, S. (2017) 'Review of Heavy Metal Contamination in Soil', *International Journal of Environmental Sciences & Natural Resources*, 3(5). doi: 10.19080/ijesnr.2017.03.555625.

Arora, S., Singh, A. K. and Singh, Y. P. (2017) 'Bioremediation of salt affected soils: An Indian perspective', *Bioremediation of Salt Affected Soils: An Indian Perspective*, pp. 1–313. doi: 10.1007/978-3-319-48257-6.

Arquitectura, E. Y. *et al.* (2015), *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*. Available at:
<http://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/245180/245180.pdf>
<https://hdl.handle.net/20.500.12380/245180>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.jsames.2011.03.003>
<https://doi.org/10.1016/j.gr.2017.08.001>
<http://dx.doi.org/10.1016/j.precamres.2014.12>.

Atlas, R. M., Philp, J. and Philp, J. (no date) *Bioremediation*.

Azubuike, C. C., Chikere, C. B. and Okpokwasili, G. C. (2016) 'Bioremediation techniques—classification based on site of application: principles, advantages, limitations and prospects', *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 32(11), pp. 1–18. doi: 10.1007/s11274-016-2137-x.

Boyd, H. (2018) *Complimentary Contributor Copy, Protests and Riots Past: Present and future perspectives*. Available at:
<https://mail.google.com/mail/u/0/?pli=1%5Cnpapers3://publication/uuid/D84FC782-E317-4880-B951-0697213436E1>.

Call, R. E. (1892) *The chemistry of soils*, *Science*. doi: 10.1126/science.ns-20.493.29.

Canyon Hydro *et al.* (2013) 'We are IntechOpen , the world ' s leading publisher of Open Access books Built by scientists , for scientists TOP 1 % ', *Intech*, 32(July), pp. 137–144. Available at:
<http://www.intechopen.com/books/trends-in-telecommunications-technologies/gps-total-electron-content-ec-prediction-at-ionosphere-layer-over-the-equatorial-region>
<http://www.asociatiamhc.ro/wp-content/uploads/2013/11/Guide-to-Hydropower.pdf>.

Colin, V. L., Villegas, L. B. and Abate, C. M. (2012) 'Indigenous microorganisms as potential

- bioremediators for environments contaminated with heavy metals', *International Biodeterioration and Biodegradation*, 69, pp. 28–37. doi: 10.1016/j.ibiod.2011.12.001.
- Dixit, R. *et al.* (2015) 'Bioremediation of heavy metals from soil and aquatic environment: An overview of principles and criteria of fundamental processes', *Sustainability (Switzerland)*, 7(2), pp. 2189–2212. doi: 10.3390/su7022189.
- E.P.A. (1997) 'Recent Developments for In Situ Treatment of Metal Contaminated Soils', *U.S. Environmental Protection Agency*, (703), p. 64.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO) (2013) *Food wastage footprint, Fao, Un*. Available at: www.fao.org/publications.
- Garbisu, C. and Alkorta, I. (2003) 'Basic concepts on heavy metal soil bioremediation', *ejmp & ep (European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection)*, 3(1), pp. 58–66.
- García F, P. *et al.* (2018) 'Phytoremediation of soils contaminated with heavy metals', *Biodiversity International Journal*, 2(4), pp. 362–376. doi: 10.15406/bij.2018.02.00088.
- Girma, G. (2015) 'Microbial Bioremediation of Some Heavy Metals in Soils: An Updated Review', 6(1), pp. 147–161.
- Imeson, A. (1992) *Theory and application, Journal of Geography in Higher Education*. doi: 10.1080/03098269208709175.
- Jain N, A., H, U. T. and S, L. K. (2012) 'Review on Bioremediation of Heavy Metals with Microbial Isolates and Amendments on Soil Residue', *International Journal of Science and Research (IJSR) ISSN (Online Impact Factor)*, 3(8), pp. 2319–7064.
- Jain, S. *et al.* (2018) 'Global Food Waste Management: Full Report an implementation guide for cities', *World Biogas Association*, pp. 1–145. Available at: <http://www.waste.ccacoalition.org/document/white-paper-waste-and-climate-change-iswa-key->
- Kouchou, A. *et al.* (2017) 'Effects of long-term heavy metals contamination on soil microbial characteristics in calcareous agricultural lands (Saiss plain, North Morocco)', *Journal of Materials and Environmental Science*, 8(2), pp. 691–695.
- Kumar, V. *et al.* (2015) 'Bioremediation of heavy metals by employing resistant microbial isolates from agricultural soil irrigated with industrial waste water', *Oriental Journal of Chemistry*, 31(1), pp. 357–361. doi: 10.13005/ojc/310142.

- Mohapatra, R. K. *et al.* (2019) 'Native soil bacteria: Potential agent for bioremediation', *Soil Microenvironment for Bioremediation and Polymer Production*, pp. 17–34. doi: 10.1002/9781119592129.ch2.
- Ojuederie, O. B. and Babalola, O. O. (2017) 'Microbial and plant-assisted bioremediation of heavy metal polluted environments: A review', *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 14(12). doi: 10.3390/ijerph14121504.
- Pandey, B. and Fulekar, M. H. (2012) 'Bioremediation technology: A new horizon for environmental clean-up', *Biology and Medicine*, 4(1), pp. 51–59.
- Prasad, R. E. A. (2018) *Approaches in Bioremediation, Imta*. Available at: <http://www.springer.com/series/15921%0Ahttp://link.springer.com/10.1007/978-3-030-02369-0>.
- Ripin, S. N. M. *et al.* (2014) 'Analysis and pollution assessment of heavy metal in soil, Perlis', *Malaysian Journal of Analytical Sciences*, 18(1), pp. 155–161.
- Rittmann, B. E. (2006) 'Microbial ecology to manage processes in environmental biotechnology', *Trends in Biotechnology*, 24(6), pp. 261–266. doi: 10.1016/j.tibtech.2006.04.003.
- Saha, J. K. *et al.* (2017) *Soil Pollution - An Emerging Threat to Agriculture*. doi: 10.1007/978-981-10-4274-4.
- Saha, R. C. *et al.* (2019) 'A review-bioremediation of oil sludge contaminated soil', *E3S Web of Conferences*, 96(2019), pp. 2–7. doi: 10.1051/e3sconf/20199601004.
- Shayler, H., McBride, M. and Harrison, E. (2009) 'Soil Contaminants and Best Practices for Healthy Gardens', p. 4.
- Sherameti, I. and Varma, A. (2010) *Soil Biology Series Editor Ajit Varma, Amity Institute of Microbial Sciences*, .
- Shukla, K. P., Singh, N. K. and Sharma, S. (2010) 'Bioremediation: Developments, current practices and perspectives', *Genetic Engineering and Biotechnology Journal*, 2010, pp. 1–20.
- Tripathi, V., Fraceto, L. F. and Abhilash, P. C. (2015) 'Sustainable clean-up technologies for soils contaminated with multiple pollutants: Plant-microbe-pollutant and climate nexus', *Ecological Engineering*, 82, pp. 330–335. doi: 10.1016/j.ecoleng.2015.05.027.
- U.S. Environmental Protection Agency (2006) "In Situ Treatment Technologies for

Contaminated Soil” Office of Research and Development’, *Epa*, (November), pp. 15–20.
Available at: www.epa.gov/tio/tsp.

Usein, H. H. M. *et al.* (2019) ‘Urban Soil Pollution with Heavy Metals in Hama Floodplain, Syria’, *Natural Resources*, 10(06), pp. 187–201. doi: 10.4236/nr.2019.106013.

Wilpiseski, R. L. *et al.* (2019) ‘Soil Aggregate Microbial Communities: Towards Understanding Microbiome Interactions at Biologically Relevant Scales’, *Applied and environmental microbiology*, 85(14), pp. 1–18. doi: 10.1128/AEM.00324-19.

Wuana, R. A. and Okieimen, F. E. (2011) ‘Heavy Metals in Contaminated Soils: A Review of Sources, Chemistry, Risks and Best Available Strategies for Remediation’, *ISRN Ecology*, 2011, pp. 1–20. doi: 10.5402/2011/402647.

Ашихмина, А. Т. Я. *et al.* (2018) *высшего образования Институт биологии Коми научного центра И БИОРЕМЕДИАЦИИ ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПОЧВ.*

Багаева, Т. В., Ионова, Н. Э. and Надеева, Г. В. (2013) ‘Микробиологическая Ремедиация Природных Систем От Тяжелых Металлов’, p. 56.

Никовская, Г. Н. and Калиниченко, К. В. (2014) ‘МУНИЦИПАЛЬНЫХ СТОЧНЫХ ВОД’, pp. 21–32.