

ЕКО-БИОТЕХНОЛОГИИ

АКАДЕМИЧЕН КУРС

ПОСТИЖЕНИЯ В БИОРЕМЕДИАЦИЯТА

УНИВЕРСИТЕТ на ПАМУККАЛЕ

доц. д-р. ФЕВЗИЕ ЧЕЛЕБИ ТОПРАК
доц. д-р. ЙЕЗИМ КАРА
доц. д-р. АЛИ РАМАЗАН АЛАН
доц. д-р. ИЗЕТ КАРА
проф. д-р. СЕЛЧУК ТОПРАК

РО 1: ВЪВЕДЕНИЕ В ТЕХНОЛОГИЯТА ЗА РЕМЕДИАЦИЯ

1. Въведение в технологията за ремедиация

Околната среда се замърсява от химични съединения, вредни за всички биологични системи. Неконтролируемото индустриално развитие, прирастът на населението, урбанизацията, по-голямото търсене на храни, засоляването на селскостопанските земи и изпускането на опасни химикали са главните фактори, допринасящи за съвременните проблеми със замърсяването на околната среда. В международен план се наблюдава нужда от природосъобразни практики и нарастваща необходимост от възстановяване на замърсените зони.

1.1. Терминология в областта на ремедиацията

Замърсяване е изхвърлянето на дадено токсично или замърсяващо вещество, което има вероятност да окаже вредно влияние върху природната среда или живите същества.

Замърсителят превръща дадена зона или субстанция (като водата, въздуха или храната) в негодни за употреба. **Ремедиацията** възстановява замъреното място като възвръща естественото му състояние. Под **ремедиация на околната среда** се разбира отстраняването на замърсяването или на замърсителите от почвите, водите (както подпочвените, така и повърхностните) и въздуха. Отпадните продукти се отстраняват с цел както опазване на човешкото здраве, така и възстановяване на околната среда. Почистените зони могат да се използват и за градско развитие. Ремедиацията на околната среда се регулира строго и е предмет на редица правни изисквания, които се основават главно на оценки на човешкото здраве и рисковете за околната среда. Проектите по ремедиация варират от мащабни, скъпо струващи проекти, при които се полагат огромни усилия за почистване на замърсените терени, до по-малки, с по-ограничени разходи, като например почистване след магистрална катастрофа, при която се е разлял петрол. Проектите за ремедиация обикновено започват с оценка на състоянието на дадената зона, за да се определят необходимите разходи и най-подходящите технологии в конкретния случай.

Провежда се ремедиация на различни компоненти на околната среда, включително почвите (повърхностния слой, подпочвения пласт и седимента), водите (подпочвени и повърхностни) и въздуха. **Замърсяване на почвите** може да произтече от химически разливи, от промишлената дейност и употребата на някои торове и пестициди. То се

предизвиква от голяма част от факторите, които водят и до замърсяване на подпочвените води. **Замърсяването на водите** може да се причини от промишлени практики (минно дело или сондажи за нефт и природен газ) и изпускане на замърсители директно във водата или в резултат от просмукване от почвата. До **замърсяване на въздуха** може да доведе всяко вещество, постъпващо в атмосферата в резултат от човешката дейност (парникови газове, като въглероден диоксид (CO₂), метан, серен диоксид (SO₂) и хлорофлуорокарбони) или от естествени източници (горски пожари, вулканични изригвания, ветрова ерозия, разпръскване на полен, изпарение на органични съединения и естествената радиоактивност).

Ремедиацията на почвите се отнася за стратегии, които се прилагат за пречистване и възобновяване на почвите. **Ремедиацията на водите** е процесът по отстраняване на замърсители от водите. В много случаи почвата и подпочвените води се замърсяват от един и същи източник (химически разливи, промишлена дейност и употребата на определени торове и пестициди) и тяхната ремедиация трябва да се провежда едновременно. **Ремедиацията на въздуха** се явява процесът по отстраняване на присъстващите във въздуха замърсители.

Съществуващите технологии за ремедиация на замърсена околна среда се делят на две основни групи – *in situ* и *ex situ*. **Технологиите *in situ*** включват третиране на замърсения материал директно на място. **Технологиите *ex situ*** се явяват вариант за ремедиация, при който замърсителят се отстранява от първоначалното си местонахождение и се почиства на място или извън района. Има различни технологии за ремедиация, които могат да се използват за отстраняване на замърсители от околната среда. Методите, прилагани във всеки конкретен случай, се определят от вида и степента на замърсяване, както и от характеристиките на самия терен. Съществуват много и разнообразни методи за ремедиация, като непрекъснато се разработват нови и нови технологии.

1.2. Типове ремедиация

Ремедиацията може да се раздели на два типа методи – конвенционални и биологически.

Конвенционалните методи за ремедиация включват:

- изкопни и драгажни дейности;
- парна екстракция на почвата;
- втвърдяване или стабилизиране;
- промиване („изпиране“) на почвата;
- въздушно барботиране;

- изпомпване и обработване;
- химично окисление;
- високотемпературно изгаряне (инсинерация).

Методът за биологическа ремедиация е:

- биоремедиацията.

1.2.1. Конвенционални методи за ремедиация

Изкопни и драгажни дейности

Този метод се основава на премахване на замърсената почва или на други материали от дадена замърсена зона. Най-често прилаганият тип ремедиация на почвите са **изкопните дейности (екскавация)**. Те могат да се сведат до просто изгребване на почвата и заменянето ѝ с незамърсена или пък да включват по-сложни процеси, например аерация. Това зависи от замърсителя.

Драгажни дейности

Драгажните дейности представляват физическо отстраняване на замърсени седименти от сладка или морска вода с цел намаляване на рисковете за човешкото здраве и околната среда. Драгажните дейности зависят от условията на средата (твърдостта и количеството на материала за дрегиране, експозицията на зоната, метода за депониране и т.н.), типа замърсител и степента на замърсяване на седиментите. Изпускането на замърсители, свързани с дрегиране, може да произтече във вид на частици, разтворени или летливи фракции, като всеки от тези случаи се характеризира с различен транспорт и/или начини на експозиция. За постигане на желаните резултати от даден проект по възможно най-ефективен начин се прилагат различни видове оборудване и техники за дрегиране.

Парна екстракция на почвата

Технологията за **парна екстракция на почвата (ПЕП)** използва вакуумни помпи за създаване на движение на въздух в почвената матрица, чрез което се отстранява замърсителят, разпределен във всички почвени фази. След това екстрахираните пари се обработват и изпускат в атмосферния въздух или, ако може, се връщат в подповърхностния почвен слой. ПЕП се прилага по-често като подход за ремедиация на почвите в случаите, когато провеждането на изкопни дейности е възпрепятствано поради наличие на физически пречки (сгради, дървета и т.н.), или когато замърсяването е обширно. Методът ПЕП позволява едновременно пречистване на почвата и подпочвените води.

Втвърдяване или стабилизиране

Методът включва смесване на замърсената среда със специфичен свързващ материал с цел превръщане на опасните съставки в по-слабо разтворими, по-неподвижни или по-нетоксични форми чрез инкорпориране на замърсяването във втвърдена матрица. Понастоящем технологията се прилага за третиране на отпадъци от различни производства, като утайки от щавене на кожи и от водопречиствателните станции на предприятията по галванопластика и довършителна обработка на метали. Тези отпадъци обикновено съдържат тежки метали, органика или разтворими соли.

Промиване („изпиране“) на почвата

Това са *ex situ* или *in situ* методи, включващи физическа и/или химическа екстракция на метали, замърсяващи почвите. Процедурата по **промиване („изпиране“) на почвата** е подходяща главно за гранулирани почви с по-малко глинесто съдържание, замърсени с неорганични компоненти (тежки метали). Промиването на почвите е една от малкото трайни алтернативи за обработка с цел отстраняване на почвено замърсяване с метали. В случай че замърсителите са органични, те трябва да бъдат премахнати, за което като миещи средства се използват определени разтворители или сърфактанти.

Въздушно барботиране

При този метод през замърсената зона се инжектира въздух. Този инжектиран въздух спомага за избутване (барботиране с мехурчета) на замърсителите нагоре в ненаситената зона, където обикновено се прилага система за парна екстракция в комбинация с въздушното барботиране за отстраняване на образувалата се зона от пари, съдържащи замърсителите. **Въздушното барботиране** е *in situ* метод за ремедиация, който се използва за намаляване на по-нискомолекулните компоненти (бензен, етилбензен, толуен и ксилен) в състава на петролни продукти, като бензин, в наситената зона на почвите. От гледна точка на необходимите средства и време въздушното барботиране е рентабилна и рационална система за ремедиация на летливи и/или биоразградими замърсители.

Изпомпване и обработване

Методът се основава на изпомпване на замърсената подпочвена вода, пречистването ѝ и след това връщането ѝ обратно в земята. Нещо повече, **изпомпването и обработването** (ИиО) може да предложи обещаваща алтернатива с кратко време за постигане на резултат, висока надеждност и адаптируемост. ИиО намира широко приложение при ремедиацията на подпочвени води и възстановяването на водната среда поради

отличните резултати, които дава при отстраняването на замърсители и регулирането на тяхната миграция.

Химично окисление

Химичното окисление има за цел замърсителите да се минерализират до CO_2 , вода (H_2O) и неорганични вещества, или поне да се трансформират до безвредни или биоразградими продукти. Процесът на химично окисление се използва от десетилетия във водопречиствателната индустрия за обработка на въглеродни съединения, като петролни въглеводороди и хлорирани разтворители, а също и на редица други замърсители.

Високотемпературното изгаряне (инсинерация)

Инсинерацията представлява процес на термична обработка (при висока температура), при който се унищожават опасните отпадни материали. При инсинерацията те се превръщат в пепел, димни газове и топлина. Пепелта се образува главно от неорганичните съставки на отпадъците и може да бъде под формата на твърди бучки или отделни частици, носени от димните газове. От своя страна, преди да бъдат освободени в атмосферата, димните газове трябва да бъдат пречистени от частиците и газообразните замърсители.

1.2.2. Метод на биологическа ремедиация

Биоремедиация

Под биоремедиация се разбира прилагането на организми за отстраняване на замърсители от почвата, водата и въздуха. Постига се или чрез обработване на замърсените материали на място, или посредством отстраняването им с цел обработване другаде. За отстраняване на замърсители се използват различни видове организми (бактерии, фунги, водорасли и растения), които обикновено са специално пригодени за точно определен тип химикали.

2. Опасни замърсители на околната среда

Опасни замърсители са вещества или енергия, попаднали в околната среда, които оказват нежелателни ефекти или влияят неблагоприятно върху използваемостта на даден ресурс. Замърсителите на околната среда могат да причинят дългосрочни или краткосрочни щети, като изменят растежа на растителните или животинските видове или вредят на удобствата, комфорта, здравето на хората или стойността на имотите. Някои опасни замърсители са биоразградими и следователно не се задържат дългосрочно в околната среда. Замърсителите с висока устойчивост в околната среда

трябва да бъдат почиствани или ремедиирани, за да се елиминират произтичащите от тях потенциални рискове за устойчивото здраве на околната среда. Основните източници на замърсяване на почвите, водите и въздуха са следните:

2.1. Изкопаемите горива (нефт, природен газ и въглища)

Въглищата, нефтът и природният газ са трите главни вида изкопаеми горива – невъзобновяеми източници на енергия, образувани от органичните остатъци на растения и животни, затрупани под земята в течение на милиони години. Изкопаемите горива се състоят предимно от въглерод и водород. Процесът на горене всъщност представлява встъпване в химични реакции с кислорода в състава на въздуха. В основната си част въглеродът реагира с кислород (O), при което се образува CO₂, а когато водородът (H) се свърже с кислород, се образуват водни пари. Освобождаваният CO₂ е причината за парниковия ефект.

Въглищата представляват твърди горивни материали, съставени от органична материя и малки количества неорганични вещества. Съществуват основно четири вида въглища, които се различават по калоричност, химичен състав, съдържание на пепел и геологичен произход. Четирите типа въглища са антрацитни, черни, кафяви и лигнитни. При горенето на въглищата се отделят редица опасни замърсители. Преобладаващата част са: SO₂, азотни оксиди (NO_x), въглероден оксид (CO), частици, въглеводороди, озон (O₃), летливи органични вещества, токсични метали и металоиди (кадмий (Cd), арсен (As), никел (Ni), хром (Cr) и берилий (Be)). При горенето на въглищата се отделят замърсители, свързани с екологичните проблеми, дължащи се на киселинните дъждове, градския озон и глобалните климатични проблеми. Незапалимото минерално съдържание на въглищата се дели на дънна пепел и летлива пепел. При изгарянето на тези изкопаеми горива се отделят също и димни газове.

Дънната пепел и шлаката от котли се състоят основно от силициев диоксид, алуминиев диоксид и желязо (Fe) и по-малко количество калций (Ca), магнезий (Mg), сулфати и други съединения. Поради собственото съдържание на соли и тежки метали, а в някои случаи и ниското рН, този материал може да проявява корозивни и токсични свойства. Елементите, с които се набогатява дънната пепел и шлаката, включват барий (Ba), берилий (Be), кобалт (Co), манган (Mn), цезий (Cs), мед (Cu), никел (Ni), стронций (Sr), тантал (Ta), ванадий (V), волфрам (W), европий (Eu), хафний (Hf) и цирконий (Zr), които се концентрират от части под действие на ефектите на разделяне по плътност. Оксидите на силиция (SiO), алуминия (Al), Fe и Ca съставляват над 90% от минералния състав на

типичната летлива пепел. По-малко е количеството на Mg, калий (K), натрий (Na), титан (Ti) и сяра (S). Те представляват около 8% от минералното съдържание, докато микрокомпонентите, като As, Cd, олово (Pb), живак (Hg) и селен (Se), заедно образуват 1% от общия състав на въглищата. Димните газове от изгарянето на въглищата се състоят основно от неизгорял азот, въглероден диоксид и водни пари.

С откриването на суровия петрол през XIX век се предоставя евтин източник на течно гориво, което допринася за световната индустриализация и за подобряване на жизнения стандарт. Нефтохимичната промишленост е значителен източник на опасни органични отпадъци, произвеждани при производството или употребата на опасни вещества. Добивът, транспортирането и съхранението на суров петрол и нефтохимикали са основни източници на опасни отпадъци, често получавани в резултат от технологични аварии. Главните причини за замърсяване на околната среда са замърсяването на морската и сладката вода поради разливи на нефт и нефтопродукти, почвеното или подпочвеното замърсяване, дължащо се на сухоземни разливи или течове от тръбопроводи или резервоари, и замърсяването на въздуха в резултат от инсинерация на нефт или петролна шлака. Основният продукт от нефтохимичната промишленост е бензинът, който се състои от ~70% линейни и разклонени алифатни въглеводороди и 30% ароматни въглеводороди, включително ксилени, толуен, ди- и три-метилбензени, етилбензени, бензен и други. Сред останалите химикали, които се използват в големи количества в химическия синтез, се числят формалдехид, метанол, оцетна киселина, етилен, полиетилени, етилен гликол, пропилен, пропилен гликол, полипропилен гликоли и ароматни въглеводороди, като бензен, толуен, ксилени, стирен, анилин, фталати, нафталин и др.

Природният газ е възпламенима смес от газообразни въглеводороди, които се натрупват в порьозните седиментни скали, особено в тези, от които се получава нефт. Състои се предимно от метан, но също така съдържа и етан, пропан, бутан и други по-тежки въглеводороди. Включва и малки количества азот (N), CO₂, сероводород (H₂S) и микроколичества вода. Най-токсичните съставки (пропан и бутан) са представени в ограничени количества в сместа. Сериозна заплаха за околната среда се явява изтичането на метан – важен газ за глобалното затопляне, по време на сондирането и добива на природен газ от кладенци и транспортирането му по тръбопроводи. Гори по-чисто от другите изкопаеми горива. При изгарянето на природен газ се отделят незначителни количества S, Hg и частици.

2.2. Промислени отпадъци

Промиселните отпадъци се определят като вредни поради техните опасни органични и неорганични компоненти. Тези отпадъци притежават общите свойства на опасните отпадъци, като увреждане на човешкото здраве или жизнената активност на растенията и животните (остра и хронична токсичност, канцерогенни, тератогенни, патогенни свойства и т.н.), намаляване на биоразнообразието в екосистемите, запалимост, корозионно действие, способност да се взривяват и т.н. Опасните промишлени отпадъци включват замърсени с нефт почви и утайки, хидроксидни утайки, киселинни и алкални разтвори, съдържащи сяра отпадъци, утайки от бои, халогенирани органични разтворители, нехалогенирани органични разтворители, галванични отпадъци, утайки от соли, съдържащи пестициди отпадъци, експлозивни и отпадни води и емисии на газове, съдържащи вредни вещества. Вторичните отпадъци се получават при събиране, обработка, инсинерация или депониране на опасни промишлени отпадъци, като утайки, седименти, отпадни води, инфилтрати и емисии във въздуха. Те също могат да причиняват замърсяване на почвите, водите и въздуха.

2.3. Комунално-битови отпадъци (твърди отпадъци и канализационни води)

Твърдите отпадъци (смет или боклук) се натрупват главно от физическите лица и включват непотребни или счупени лични вещи, развалена храна, хартия, градински растения, пластмаси, метали, текстилни материали и др. Твърдите комунално-битови отпадъци могат да съдържат вещества, които са потенциално опасни за човешкото здраве и околната среда.

Канализационните води представляват изключително сложна смес от отпадъци, обикновено с преобладаващо количество фекална маса (органична материя), но също така и със съдържание на токсични химикали (метални йони, пестициди, други токсични вещества и т.н.), изхвърлени в системата за събиране на отпадъци от предприятия или собственици на жилища.

2.4. Селскостопански отпадъци

Селскостопанските отпадъци се генерират предимно от различни селскостопански дейности и представляват например оборска тор (от птицеферми и кланици) и други отпадъци от различни стопанства (отпадъци от реколтата, оттичане на торове от полетата, пестициди, навлизащи във водата, въздуха или почвата, и тиня, процеждаща

се от полетата). Според Conserve Energy Future селското стопанство е основен източник на замърсяване на водите и езерата, тъй като химикалите и токсините проникват в подпочвените води след като се утаят на дъното на големите водни басейни. Натрупването на такива вещества в крайна сметка води до здравословни проблеми, като синдрома на синьото бебе и неврологични заболявания. Селскостопанските отпадъци могат да окажат отрицателно влияние и върху водните растения и животни, тъй като химичните и оборните торове, амоняк и отпадъци проникват в заобикалящата околна среда и нарушават процесите в екосистемата.

2.5. Пестициди

Пестицидите са токсични химични вещества, които се внасят умишлено в околната среда с цел убиване на живи организми (насекоми, плевели, fungi, бактерии и др.). Механизмите, по които пестицидите регулират или убиват даден организъм, са различни, например: инхибиране на биологични процеси, като фотосинтезата, митозата, клетъчното делене, ензимната активност, растежа; нарушаване на синтеза на пигменти, белтъци или дезоксирибонуклеинова киселина (ДНК); разрушаване на клетъчните мембрани; или провокиране на неконтролируем растеж. Пестицидите са започнали да се използват още в началото на човешката цивилизация. Първото съзнателно прилагане на пестицид датира от 2500 пр. Хр. от шумерите. Те са използвали серни съединения за убиване на насекоми. Пестицидите предизвикват замърсяване на околната среда главно чрез въздуха, почвите, водите и дивата природа. Те не само убиват целевите вредители, но също увреждат и много други организми, намиращи се във въздуха, почвите и водите. Ето защо намаляват биоразнообразието. Трябва да се насърчава разработването на безопасни алтернативни методи, като например сравнително по-евтини биопестициди.

2.5.1. Инсектициди

Инсектицидите са токсични химикали, предназначени за умишлено въвеждане в околната среда с цел унищожаване на насекоми. Те също могат да оказват отрицателно въздействие върху екосистемата. При пръскане лесно замърсяват въздуха, почвите и водите.

2.5.2. Хербициди

Прилагат се за унищожаване на нежелани растения или „плевели“. Повечето водят до загиването на всички растения, до които се докоснат, но някои са създадени да действат целенасочено на един определен вид. Добре известен факт е, че употребата на хербициди създава рискове за растителността, заобикаляща дадено обработваемо поле.

Хербицидите предизвикват замърсяване на околната среда – въздуха, почвите и водите. Могат да попаднат във водните екосистеми в резултат от подземния отток и в по-малка степен – от директното приложение и въздушното пръскане. Микробните съобщества в сладководните екосистеми не са пряка мишена, но биват изложени на хербициди и могат да бъдат повлияни от тези съединения пряко или косвено.

2.5.3. Фунгициди

Предназначени са за борба с фунги. Използването им предизвиква замърсявания на въздуха, водите и почвите. Фунгицидите постъпват в околната среда в резултат от употребата им в селското стопанство и болничните заведения. Например, областите с интензивно земеделие, водната среда и т.н. са изложени на земеделски пестициди, които периодично се откриват в повърхностните води в тези зони. Също например след използване на азолни фунгициди за лечение в хуманната медицина, те могат да попаднат в заобикалящата среда в резултат от пряко или непряко изхвърляне на отпадъчни води, с което създават потенциални рискове за организми, които не са мишена за тяхното действие. Болшинството фунгициди обаче проявяват сравнително ниска токсичност спрямо бозайници и, с изключение на карбаматите като беномил, сравнително тесен спектър на токсичност спрямо почвените и водните обитатели. Най-същественото им въздействие върху околната среда е токсичността за почвените и водните микроорганизми.

2.5.4. Бактерициди

Бактерицидите са химични препарати за предотвратяване на бактериалния растеж. Използват се като покрития и инхибитори на корозията в нефтените кладенци и свързващите тръбопроводи за междинно съхранение към рафинериите за суров петрол. Все повече биват добавяни към антимикробните повърхности и други продукти с цел унищожаване на бактериите или инхибиране на техния растеж. Интензивно се прилагат и в животновъдството и ветеринарната медицина за целите на отглеждането и развъждането на продуктивни животни. Друго важно приложение бактерицидите намират в системите на охладителните кули с цел ограничаване на растежа на някои вредни бактерии, като *Legionella*, които в противен случай биха се отделяли в аерозолите от охладителните кули.

2.6. Тежки и други метали

Тежките метали и металите, които не спадат към групата на тежките, се откриват естествено в околната среда в резултат от педогенетичните процеси (ерозия, вулканична

дейност и др.) и антропогенната активност (минно дело, рафиниране на руди, предприятия за щавене на кожи, производство на батерии, хартия, пестициди и торове и др.). По същество тези метали стават замърсители на почвите и водите, когато се отделят в прекомерни количества под действие на природни и антропогени дейности. Тези замърсители са от особено значение поради своята токсичност, склонност към биоаккумуляция и задържане в природата в продължение на дълги периоди от време. Главните замърсители от групата на тежките и другите метали са:

Антимонът се среща естествено в земята и често се използва в производството на забавители на горенето. Намира приложение и в керамиката, стъklarството, батериите, фойерверките и експлозивите. Питейната вода се замърсява в резултат от естественото изветряване на скалите, промишленото производство, изхвърлянето на битови отпадъци или производствените процеси.

Арсенът (As) е полуметал без мирис и вкус. Замърсяванията на питейната вода с арсен се дължат на селскостопански и промишлени дейности.

Азбест е събирателно наименование на шест естествено присъстващи в природата минерала (хризотил, крокидолит, антофилит, тремолит, актинолит и амозит). Използва се в производството на цименти, подови плочки, хартиени продукти, бои и уплътнители; в свързани с транспорта приложения, както и в производството на текстил и пластмаси. Замърсяванията на околната среда с азбест се дължат главно на откритите мини, които генерират огромни количества минни отпадъци и основни скали.

Барият (Ba) присъства естествено в някои водни хоризонти, служещи като източници на подпочвени води. Основно приложение намира в промивните течности за сондажи за нефт и газ, автомобилни бои, тухли, плочи и самолетни горива. Замърсява питейните води главно при разтваряне от природните минерали в земята и в резултат от нестандартни сондажни практики.

Берилият (Be) се открива естествено в земята и се използва често в електро- и машиностроенето. Обикновено попада във водите в резултат от отток при експлоатацията на мините, отделяне от преработвателни предприятия и некоректно изхвърляне на отпадъци от промишлени дейности.

Борът (B) е естествен елемент. В природата съществува заедно с кислород и други елементи под формата на различни съединения, наречени борати. Антропогенното замърсяване с бор във водоносните хоризонти се дължи на течове от септични системи и експлоатацията на боратните мини.

Кадмият (Cd) се явява замърсител в състава на металите, използвани за галванизирани тръби. Корозията на тези тръби или некоректното изхвърляне на отпадъци причинява замърсяване на водите. Други източници на Cd са PVC дограмата, пластмасите и покритията върху стомана.

Хромът (Cr) се открива естествено в земята. Често се използва в галванопластиката на метали. Обикновено попада във водите в резултат от отток при експлоатацията на стари мини и неправилно изхвърляне на отпадъци от промишлени дейности (обшивки, металургията, пигменти и щавене на кожи).

Хлорът (Cl) е естествен природен елемент. Попада във водите главно в резултат от антропогенната дейност (пътна сол, торове, промишлени отпадъци или от канализацията).

Цианидите (CN) намират приложение в галванопластиката, обработката на стомана, в пластмасите, синтетичните тъкани, при възстановяването на метали и в торове. Неправилното изхвърляне на отпадъци води до замърсяване на водите.

Медта (Cu) се открива естествено в скалите от типа на пясъчниците и в някои минерали като малахит и халкопирит. Повишените нива на Cu се дължат на употребата на торове, строителни материали, производството на изкуствена коприна, пръскането с пестициди, селскостопанските и битовите отпадъци и емисиите от промишлеността.

Флуорът (F) е естествено присъстващ елемент в някои водоизточници. Замърсяване на водите се получава при неправилно изхвърляне на отпадъци и при експлоатацията на мините.

Оловото (Pb) се открива в естествени (изветряне на почвообразуващи скали и рудни залежи) и изкуствени (минно дело, емисии от промишлеността; топене на метали, напояване с отпадни води и торене) източници. Замърсяване на околната среда може да се предизвика от минното дело и промишлените дейности (пластмаси, довършителни инструменти, катодно-лъчеви тръби, керамики, спойки, оловни хидроизолационни материали и други второстепенни продукти, рециклиране на кабели и стомана).

Живакът (Hg) присъства естествено в природната среда и може да се открие както под формата на метал, така и в състава на неорганични и органични съединения. Намира приложение в металопреработвателната промишленост, както и в продукти за медицински, козметични и духовни цели. Обикновено замърсява водата в резултат от неправилно изхвърляне на отпадъци.

Никелът (Ni) е естествено присъстващ в земята елемент. Приложение намира основно при галванопластиката и в продукти от неръждаема стомана и сплави. Предизвиква

замърсяване на околната среда в резултат от минното дело, промишлените дейности (никелиране, цветна керамика, батерии, пещи за изготвяне на сплави и за изгаряне на отпадъци или от електроцентрали) и дейностите по рециклиране.

Нитратите (NO_3) са естествен компонент на почвите и водите. Използват се в състава на торове и се откриват в канализацията и в отпадъци от човека и/или селскостопанските животни, като тези дейности се явяват главна причина за попадането на нитрати в питейната вода.

Селенът (Se) се намира предимно в храните и в почвите. Широко приложение намира в електрониката, телевизионните камери, компютърните ядра, копирните машини, производството на стъкло, керамика, лекарства, както и като фунгицид и добавка към фуражите. Замърсява околната среда в резултат от минното дело и дестилационните дейности.

Среброто (Ag) се присъства в природата в чиста форма или във вид на различни руди. Използва се основно в индустрията, фотографските химикали, съоръженията за дестилиране на вода, огледала, оборудване за посребряване, специални батерии, прибори за хранене, бижута, стоматологично и научноизследователско оборудване, включващо амалгами. Основните източници на замърсяване на околната среда (въздуха, почвите и водите) със сребро са природни или антропогенни (фотографски проявители, които биват директно изхвърляни в канализацията).

Натрият (Na) е естествена съставка в храните и в питейната вода. Чрез питейната вода се набавя само малка част от общия прием на Na. Главните източници на замърсяване с Na са крайбрежните райони, носените от вятъра морски пръски, както и битовите, търговските и промишлените отпадъчни води. Като цяло, натриевите соли не са силно токсични съединения поради високата ефективност, с която добре развитите бъбреци екскретират натрий. Във високи концентрации натрият има слонност да повишава корозивното действие на водата, да ѝ придава неприятен вкус и да затруднява действието на йонообменните омекотители при отстраняване на твърдостта на водата.

3. Охарактеризиране на замърсени терени

Индустриализацията и добивът на природни изкопаеми са причина за замърсяване на природата в цял свят. В околната среда (почвите, водите и въздуха) ежедневно се изхвърлят големи количества токсични (над 450 милиона килограма) отпадъчни материали (съдържащи тежки метали). Тези замърсители предизвикват екологичен проблем за всички живи организми. Деконтаминацията на замърсената природа е

съществен въпрос при поддържането на екологичното равновесие. В развитите страни се полагат големи усилия за разработване на техники за ремедиация.

Поради това е особено важно да се извърши оценка и охарактеризиране на замърсените терени с цел:

- определяне на концентрацията и пространственото разпределение на съответните вредни замърсители;
- определяне на степента на ремедиация на терена (зониране), въз основа на което се избира подходящ метод за ремедиация;
- оценка на риска за околната среда и за здравето на хората в резултат от замърсяването.

Други по-конкретни въпроси, на които трябва да бъде даден отговор при охарактеризирането и оценката на терени, са:

- Кой е източникът на замърсители?
- Какъв е типът на замърсителите и под каква физична форма са представени те?
- Степента на замърсяване в пространството и в дълбочина.
- Дали замърсителите са подвижни или неподвижни?
- В случай че са подвижни, идентифициране на значимите пътища.
- Идентифициране на потенциалните реципиенти на замърсителите.

Трябва да бъде избран подходящ метод за ремедиация според нивото на токсичност на замърсителите и риска, който представляват за околната среда. Ремедиацията няма за цел абсолютно пречистване. Основният акцент е върху свеждане на нивото на замърсяване значително под регулаторно установената допустима граница на токсичност. Устойчивостта на методите за ремедиация е изключително важна за анализиране на дългосрочния ефект с цел избягване на потенциални бъдещи проблеми.

Подборът на подходящи методи за ремедиация включва следните етапи.

Откриване на празноти в наличната информация. Трябва да бъде предприето кабинетно поручване за определяне на това дали се разполага с достатъчно информация за извършване на задоволителна оценка на риска с необходимата степен на надеждност.

В случай че няма, то следва да бъдат дефинирани цели за допълнително изследване.

Безопасност на терена. Потенциално опасната природа на даден терен иска внимание още от самото начало с цел идентифициране на мерките за безопасност, необходими за защита на персонала и околната среда.

Естество на проучването. След поставяне на целите за допълнително изследване трябва да бъде взето решение за естеството на необходимото проучване, така че да бъдат набавени нужните данни.

Пунктове и дълбочина на пробовземане. Трябва да се набележат пунктовете и дълбочината, от която да бъдат взети проби, както и броят необходими пунктове.

Химични анализи. Конкретно какви анализи да бъдат направени на пробите по време на изследването се определя след проучване на историята на терена и разглеждане на условията на място.

Методи за пробовземане. Трябва да бъдат обмислени методите за получаване, съхранение и транспортиране на пробите до химическата лаборатория.

Консултантите и отговорните лица често изпитват огромни затруднения при вземането на решение относно това коя технология за пречистване би била финансово най-изгодна и същевременно способна да постигне заложените цели. Цената е ключов фактор при избора на система за ремедиация, тъй като обезпечаването и бюджетирането на средствата е сериозен проблем, изискващ иновативно приложение на технологиите за подхождане към проблема със замърсяването и справянето с него. В редица случаи един единствен метод за ремедиация не е достатъчен за задоволително пречистване на почвата и/или подпочвените води в даден терен до нива под пределно допустимите граници.

Методите за пречистване на околната среда, които понастоящем намират приложение, включват главно конвенционални технологии за ремедиация. Напредъкът в сферата на бионауките и биотехнологиите обаче позволява разработване на нови високо ефективни устойчиви методи за ремедиация, включващи биологични агенти (биоремедиация) при пречистването на околната среда и поддържането на здравословно екологично равновесие. Очакванията са в близко бъдеще повечето конвенционални методи за пречистване на околната среда да бъдат успешно изместени от устойчиви технологии за биоремедиация. Биоремедиацията има редица предимства, като дълготрайно действие, ниска цена (60–90% по-ниска в сравнение с другите методи), ниски разходи за поддръжка, липса на грозни гледки, способност за повлияване на зоните източници, скъсяване на времето за почистване и пълно разграждане на замърсителя.

4. Биоремедиация

В днешни дни замърсяването на околната среда е универсален проблем поради неконтролируемо нарастващото население и бързите темпове на индустриализация и

урбанизация по света. Замърсената околна среда трябва да бъде пречиствана с помощта на подходящи методи за ремедиация с цел екологично равновесие. Методите за пречистване на околната среда, които понастоящем намират приложение, включват главно конвенционални технологии за ремедиация. Напредъкът в сферата на бионауките и биотехнологиите обаче позволява разработване на нови високо ефективни устойчиви методи за ремедиация. Очакванията са в близко бъдеще повечето конвенционални методи за пречистване на околната среда да бъдат успешно изместени от устойчиви технологии за биоремедиация.

4.1. Критерии при стратегиите за биоремедиация

При оценка на използването на биоремедиация за почистване на даден терен трябва да се вземат под внимание няколко фактора от критично значение. Те са разгледани по-долу под отделни заглавия.

4.1.1. Мащаб, токсичност и подвижност на замърсителите

Правилното проучване и охарактеризиране на замърсени терени трябва да се извършва, както следва:

- степен на замърсяване в хоризонтална и вертикална посока;
- природа на замърсителите на терена;
- вероятната подвижност на замърсителите в бъдеще.

4.1.2. Геофизични, геохимични и биологични характеристики на замърсения терен

Структурата на почвата е съставена от различни механични фракции с ниско до високо съдържание на пясък, тиня и глина. Почви, които са гранулирани и добре структурирани, спомагат за ефективен достъп на микроорганизмите до въздух, вода и хранителни вещества при биоремедиация *in situ*.

Влажността (почвената вода) е главният определящ фактор за диелектричната константа на почвата и другите среди. Почвената влажност варира основно от 25 до 28%.

pH (водородният показател) варира в границите от 5.5–8.0, което е в рамките на оптималните стойности за растеж на микроорганизмите и разграждане на замърсители.

Температурата е в диапазона от 15–45°C. Тя оказва влияние на скоростта на биохимичните реакции, която се удвоява при всяко покачване на температурата с 10°C.

Кислородът участва главно при първоначалното разграждане на въглеводородите в замърсените площи. Количеството наличен кислород е определящо за това дали биоремедиацията да се провежда при аеробни или анаеробни условия.

Разнообразие от микроорганизми населява замърсените терени, като например *Pseudomonas*, *Aeromonas*, *Flavobacteria*, *Chlorobacteria*, *Corynebacteria*, *Acinetobacter*, *Mycobacteria*, *Streptomyces*, *Bacillus*, *Arthrobacter*, *Aeromonas*, *Cyanobacteria* и др.

Разнообразието на макробентоса представлява консорциум от водни растения, като *Eichornia crassipes*, *Salvinia molesta*, *Ceratophyllum demersum*, и водни животни, като *Anodonta woodiana* и *Limnodrilus hoffmeisteri*, които притежават висок потенциал за обезмътняване, намаляване на биохимичната потребност от кислород и разграждане на амоняка, нитритите и нитратите в битовите отпадни води.

4.1.3. Близост до човека и околната среда като реципиенти

Дали биоремедиацията ще бъде подходяща за изчистване на околната среда в дадена зона или не, зависи от това доколко скоростта и степента на разграждане на замърсителя са достатъчни за поддържане на ниски нива на риск за човека и околната среда като реципиенти.

4.1.4. Склонност на замърсителите към разграждане

Биологичното разграждане на дадено съединение обикновено е добре изразено, ако съединението се открива естествено в околната среда, като например петролните въглеводороди. За разлика от тях, синтетичните съединения с голямо молекулно тегло (циклични комплексни структури и халогенни заместители) се разграждат по-бавно от по-просто устроените неразклонени въглеводороди.

4.1.5. Планирано използване на терена

Решението относно това дали биоремедиацията е подходящ метод за почистване на даден терен се отределя от това дали скоростта и степента на разграждане на замърсиеля са достатъчни за намаляване на риска до допустимо равнище.

4.1.6. Възможност за правилен мониторинг

Факторите на околната среда включват химични и физични характеристики, които оказват влияние върху бионаличността на замърсителите, наличието на други хранителни вещества, активността на биологичните процеси (например температура и рН) и характеристиките на замърсителите по отношение на това как те си взаимодействат с геохимичните и геологичните особености на терена.

4.1.7. Научни и технически аспекти

Въпреки че съществуват редица замърсители, които са биоразградими, включително петролните въглеводороди, алкохолите и разтворителите, голям брой широко използвани промишлени химикали, като полихлорираните бифенили (ПХБ), пестициди, каменовъглени катрани, хлорирани разтворители и полиядрените ароматни

въглеродороди, не се разграждат така лесно. Ето защо са необходими по-интензивни проучвания, но все повече намаляват средствата, отделяни за този тип фундаментални изследвания. За разлика от конвенционалните технологии, методите за биоремедиация трябва да бъдат специално пригаждани към всеки отделен замърсен терен. Всеки обект за отпадъци притежава уникални характеристики, които изискват индивидуален подход. До момента не са установени официални критерии за оценка на успеха или неуспеха на дадена стратегия.

4.1.8. Човешки ресурси

Тъй като биоремедиацията се явява нова технология, се наблюдава недостиг на обучени човешки ресурси в областта. Една успешна програма за биоремедиация изисква мултидисциплинарен подход, интегриращ области като микробиология, инженерство, геология, хидроекология, почвознание и мениджмънт на проекти. Университетите не предлагат квалификации по биоремедиационно инженерство и такъв комбиниран експертен опит може да се натрупа единствено чрез практика и обучение на работното място.

4.1.9. Стопански аспекти

За разлика от останалите промишлености, биоремедиацията не води до производство на продукти с висока добавена стойност. Поради това инвестициите на рисков капитал в тези технологии се случват бавно, в резултат на което търговската дейност по научноизследователската и развойната част изостава много зад другите промишлени отрасли. Тъй като биоремедиацията се възприема като иновационна технология, тя се разглежда по-стриктно в сравнение с конвенционалните методи от страна на клиентите и регулаторните агенции. В резултат, при биоремедиацията в много случаи се налагат по-строги ограничения и стандарти за изпълнение, отколкото върху другите технологии за ремедиация. Това в крайна сметка може да доведе до по-голям риск от гледна точка на отговорността, в случай че програмата за биоремедиация не постигне предварително поставените цели.

4.2. Методи за биоремедиация

Методите за биоремедиация могат да се групират в пет категории: *in situ*, *ex situ*, биореактори, естествено самопочистване и фиторемедиация. Те постигат главно едно от следните две неща: или отстраняват замърсителите от субстрата (методи за деконтаминация или почистване) или намаляват риска, произтичащ от замърсителите, като ограничават експозицията (методи за стабилизиране).

4.2.1. Методи за ремедиация *in situ*

Това са технологиите за биоремедиация, които се прилагат “на място”, без изнасяне на замърсения матрикс от въздуха, водата или почвата. Предимствата и недостатъците на тези методи са представени в Таблица 1. Често използваните *in situ* методи са следните:

Биовентилиране

Биовентилирането включва подаване на въздух и хранителни вещества през кладенци в замърсената почва с цел стимулиране на местните бактерии. Ако замърсяването е дълбоко под повърхността, този метод може да се използва за почистване на околната среда. При биовентилирането въздушният поток се подава с ниска скорост си се предоставя само това количество кислород, което е необходимо за биоразграждането, като същевременно изпаряването и изпускането на замърсители в атмосферата се свежда до минимум.

Биодеградация

Биодеградацията е свързана с подаване на кислород и хранителни вещества чрез водни разтвори, циркулиращи през замърсените почви, с цел стимулиране на множеството естествено присъстващи организми да разградят различни органични замърсители. Този метод се прилага главно за при замърсени почви и подпочвени води.

Биобарботиране

Този метод е една от технологиите за ремедиация *in situ*, използващи местните микроорганизми за биоразграждане на органични съставки в даден наситен терен. За да се повиши биологичната активност на естествено присъстващите микроорганизми, в наситената зона се инжектират въздух и хранителни вещества. Биобарботирането се използва за почистване на подпочвени води и почви, замърсени с петролни съставки. Лесното и евтино инсталиране на точки за инжектиране на въздух с малък диаметър позволява значителна гъвкавост при проектирането и изграждането на системата.

Биоаугментация

Този метод се основава на внасяне на микроорганизми, които се откриват естествено, или се явяват екзогенни за замърсения терен. Особено полезен е при почви, замърсени с неорганични съединения.

Биостимулиране

Биостимулирането е вид естествена ремедиация, която може да подобри разграждането на даден замърсител чрез оптимизиране на условията, например аерация, внасяне на хранителни вещества, регулиране на рН и температурите. Този метод за биоремедиация би могъл да се смята за подходящ за отстраняване на петролни замърсявания от почви,

като изисква оценка както на естествения капацитет на автохтонната микрофлора за разграждане, така и на параметрите на средата, имащи значение за кинетиката на процеса *in situ*.

Таблица 1. Предимства и недостатъци на *in situ* методите

Предимства	Недостатъци
<ul style="list-style-type: none"> • Няма нужда от изкопни дейности (екскавация) и транспортиране на почва – обикновено по-ниска цена • Възможност за едновременно обработване на голям обем почва • Овобождаване на по-малко количество замърсители, отколкото при <i>ex situ</i> методите • Генериране на по-малко прах • Най-висока ефективност при пропусклива пясъчлива (неупълтнена) почва 	<ul style="list-style-type: none"> • Най-ниска ефективност при глини/среди със силно наслоени подповърхностни пластове – невъзможност за равномерно разпределение на кислорода в обработваната площ • По бавно постигане на поставената пречиствателна цел в някои случаи (за по-трудно разградимите замърсители са необходими години) • По-трудно управление в някои случаи (в сравнение с <i>ex situ</i> методите) • Наблюдава се сезонно вариране на микробната активност • Терените са директно изложени на факторите на околната среда, като температура, наличност на кислород и т.н. • Проблемно е прилагането на добавки при обработването, като например хранителни вещества, повърхностно активни вещества, кислород и др. • Процесът е изключително тягостен и отнема много време.

4.2.2. Методи за ремедиация *ex situ*

Методите за ремедиация *ex situ* са вариант, при който засегнатата почва (екскавация) и вода (изпомпване) се отстраняват от първоначалното местонахождение и се почистват

на място или извън района. Най-съществените *ex situ* биоремедиационни процеси са култивиране на земя в контролирани условия (ландфарминг), биокупчини и компостиране. Предимствата и недостатъците на тези методи са изложени в Таблица 2.

Култивиране на земя в контролирани условия (ландфарминг)

Този метод е най-лесният и най-ефективният за приложение при замърсени с нефт почви. Основната цел е да се стимулират естествените биоразграждащи организми и да се способства осъществяването от тях аеробно разлагане на замърсителите. Култивирането на земя в контролирани условия (ландфарминг) привлече голямо внимание като алтернативен метод за депониране, тъй като има потенциала да намали разходите за мониторинг и поддръжка, както и пасивите, свързани с почистването. Приложението обаче е ограничено до обработка на повърхностните 10–35 см почва.

Компостиране

Методът на компостиране е процес на разграждане на органични отпадъци под действие на микроорганизми в термофилни условия (40-65°C). Прилаган е за почви и биоотлагания, които са замърсени с петролни въглеводороди, разтворители, хлорфеноли, пестициди, хербициди, полициклични ароматни въглеводороди (ПАВ) и нитроароматни експлозиви.

Биокупчини

Биокупчините са метод за биоремедиация, при който култивирането на земя и компостирането се прилагат като хибридна система. Тази технология, явяваща се усъвършенстван вариант на култивирането на земя в контролирани условия, е насочена към ограничаване на физическите загуби на замърсители, дължащи се на просмукване и изпарение. Приложение намира при пречистване на повърхностни замърсявания с петролни въглеводороди. Биокупчините се възприемат като приемлив, рентабилен и по-недеструктивен метод за биоремедиация на замърсени с нефт почви.

Таблица 2. Предимства и недостатъци на *ex situ* методите

Предимства	Недостатъци
<ul style="list-style-type: none"> <i>Ex situ</i> методите могат да бъдат по-бързи, по-лесни за контролиране и са приложими за третиране на по-широк набор от замърсители и типове почви в сравнение <i>in situ</i> методите. 	<ul style="list-style-type: none"> Изисква се екскавация на почвите, което води до повече разходи и проектиране на оборудване.

<ul style="list-style-type: none"> По-голяма е сигурността по отношение на еднаквостта на обработка поради възможността за хомогенизиране, скрининг и непрекъснато размесване на почвата. 	<ul style="list-style-type: none"> По-голям риск от условията при боравене с материалите/експозиция на работниците. Обикновен се изисква обработка на замърсената почва преди, а понякога и след същинския етап на биоремедиация.
--	---

4.2.3. Биореактори

Представяват големи ферментационни камери за култивиране на микроорганизми (бактерии или дрожди), които се използват в биотехнологичното производство на вещества, като например фармацевтични препарати. Приложение намират и при превръщането на вредни отпадъци в по-малко вредни вещества. Този метод се използва за ремедиация на почви и води, замърсени с въглеродороди в състава на горивата и органика. В биореакторите има две фази (твърда и течна). Биоремедиацията в течна фаза (суспензия) е относително по-бърз метод в сравнение с тази в твърда фаза. При биореакторите, работещи в течна фаза (шламови биореактори), замърсената почва се смесва с вода и други добавки в камера с голям обем. За разлика от тях, при твърдофазовите биореактори не се добавя допълнително вода. Предимствата и недостатъците на този метод са изброени в Таблица 3.

Таблица 3. Предимства и недостатъци на методите с използване на биореактори.

Предимства	Недостатъци
<ul style="list-style-type: none"> Сравнително бързо обработване По-слабо пелетизиране По-добро хомогенизиране на течната фаза (суспензията) Повишена бионаличност 	<ul style="list-style-type: none"> Проблем може да бъде разделянето вода/почва. Изисква се пречистване на отпадните води след отделяне на водата от почвата.

4.2.4. Естествено самопречистване

Естественото самопречистване е процес, при който се намалява масата, токсичността, подвижността, обемът или концентрацията на замърсителите (органични или неорганични) в почвите, подпочвените и повърхностните води. Тези процеси се делят на физични, химични и биологични. Физичните явления са адвекция, диспергиране,

разреждане, дифузия, изпарение и сорбция/десорбция. Химичните процеси са йонообмен, комплексообразуване и абиотична трансформация. Биологичните включват аеробна и анаеробна биодеградация, всмукване или поглъщане от растения и животни. Естественото самопречистване е рентабилен метод за биоремедиация. Предимствата и недостатъците му са представени в Таблица 4.

За да може да се приложи естественото пречистване, терените трябва да отговарят на един или повече от следните критерии:

- Трябва да са разположени на място с нисък риск за човешкото здраве или за околната среда.
- Замърсените почви или подпочвени води трябва да са разположени на достатъчно разстояние от потенциалните реципиенти.
- Трябва да има данни, доказващи действителното протичане на естествено самопречистване на терена.
- Високата пропускливост ускорява разнасянето на замърсителите, а слабата пропускливост забавя разпадането им. В идеалния случай естественото самопречистване дава най-добри резултати при почви, чиято пропускливост е в диапазона между ниска и висока.

Таблица 4. Предимства и недостатъци на метода естествено самопречистване

Предимства	Недостатъци
<ul style="list-style-type: none"> • Разрушаване <i>in situ</i> – не се генерират отпадъци и не се наблюдава пренос между различни среди • Почти няма риск за човешкото здраве или за околната среда • Най-токсичните и най-подвижните замърсители обикновено се разграждат най-бързо и най-надеждно • Неинтрузивност (без вмешателство) • Рентабилност • Лесно комбиниране с други методи 	<ul style="list-style-type: none"> • Времевите рамки могат да са продължителни колкото при ремедиация чрез екстракция на подпочвени води и третиране • Дългосрочен мониторинг • Хетерогенността на водоносния хоризонт усложнява охарактеризирането на терените (не единствено за естественото самопречистване) • Възможно е междинните съединения от биодеградацията да са по-токсични от първоначалните замърсители

<ul style="list-style-type: none">• Няма прекъсване на процеса заради аварии с оборудването	<ul style="list-style-type: none">• В някои случаи рентабилността е по-ниска в сравнение с други методи, особено с метода на изпомпване и обработване (поради изискванията за мониторинг)
---	---

4.2.5. Фиторемедиация

Фиторемедиацията е метод за биоремедиация с използване на различни растения или свързани с тях микроорганизми за отстраняване, трансфериране, стабилизиране или разрушаване на замърсителите в почвите, утайките, седиментите, отпадъчните води, подпочвените води и въздуха. Растенията притежават способност да индикират, изключват, акумулират и хиперакумулират или метаболизират токсични органични или неорганични вещества. По този начин те оказват значително влияние върху съдбата на химикалите и могат да се използват за отстраняване на нежелани съединения от биосферата. Фиторемедиацията предлага екологичен, рентабилен и въглеродно неутрален подход за почистване на токсични замърсители от околната среда. Предимствата и недостатъците на този метод са изброени в Таблица 5.

Механизмите на фиторемедиация включват фитоекстракция, фитостабилизация, фитоизпарение, фитодеградация, фитоаккумуляция, ризофилтрация, ризосферна биодеградация и хидравличен контрол. Онагледени са на Фиг.1.

Фитоекстракция

При фитоекстракцията се използват растения или водорасли за премахване на замърсители от почви, седименти и води. При този механизъм растенията отстраняват тежки метали или радионуклиди от почвите чрез кореновата си система и ги натрупват в корените или ги транспортират до стъблата и листата. Едно растение не престава да отстранява замърсители докато не бъде откъснато или отсечено и събрано. Ако след събирането на растенията няма значително ниво на почистване на почвата, обикновено се налага цикълът на растеж и прибиране да се повтори с няколко „реколти“ до постигане на съществено почистване от замърсяването.

Основното предимство на фитоекстракцията е, че е екологичен метод. Не уврежда качеството на почвите. Друга полза от фитоекстракцията е, че е по-евтина от всички други методи за почистване. Тъй като обаче този процес се контролира от растения, той отнема повече време в сравнение с всички други традиционни методи за почистване на почви.

Фитостабилизация

При този механизъм растенията имобилизират замърсяващите химични съединения от почвите и водите. Замърсителите се поемат през корените и се преципитират в ризосферата. Така не се позволява на замърсителя да попадне в хранителната верига.

Фитоизпарение

При този механизъм водата, съдържаща органични замърсители, се поема от растенията и замърсителите се изпаряват във въздуха през листата. По време на целия процес даден замърсител може да претърпи модифициране при придвижването на водата през проводящата система на растението от корените до листата, след което замърсителите се изпаряват или освобождават в летлива форма във въздуха, заобикалящ растението.

Фитодеградация

При нея замърсителите (органични) се метаболизират и разпадат в тъканите на растенията. След това получените по-малки молекули могат да се използват от растението като метаболити по време на неговия растеж, като по този начин се инкорпорират в тъканите му.

Фитоакумулация

При този механизъм замърсителите се поемат през корените на растенията заедно с други хранителни вещества и вода. Така замърсителят не се разгражда, а се натрупва в стъблата и листата на растението.

Ризофилтрация

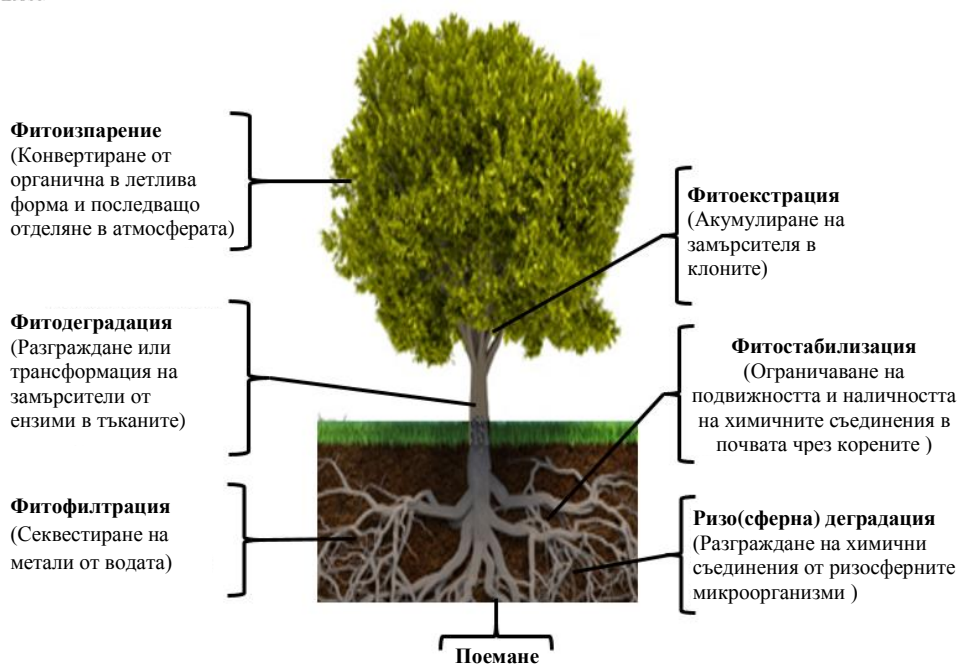
Ризофилтрацията използва както сухоземни, така и водни растения за абсорбиране, концентриране и преципитиране на метали от замърсени води (повърхностни или подпочвени).

Ризосферна биодegradация (ризодеградация)

При нея растенията отделят през корените си обикновени вещества, с което предоставят хранителни вещества за почвените микроорганизми. Така микроорганизмите подобряват биологичното разграждане. Например кореновите ексудати от растенията се явяват източници на въглерод (захари, алкохоли и органични киселини) за почвената микрофлора. Тези съединения стимулират растежа и активността на микроорганизмите, а също така служат и като хемотаксисни сигнали за микроорганизмите.

Хидравличен контрол

При този механизъм замърсените подпочвени води се ремедиират от дървета.



Фигура 1. Механизми на фиторемедиация

Таблица 5. Предимства и недостатъци на метода фиторемедиация

Предимства	Недостатъци
<ul style="list-style-type: none"> Фиторемедиацията е по-евтина от стария метод „изпомпване и обработване“ за пречистване на замърсени води. Фиторемедиацията е много по-евтина и от изгребването на един замърсен терен. До 95% от трихлороетилена (ТХЕ) във водите може да се отстрани, като просто се насадят дървета и се оставят да растат. Веднъж започнала, фиторемедиацията не изисква никаква поддръжка. Тъй като фиторемедиацията се основава на растения, тя е естетически приятна. 	<ul style="list-style-type: none"> Приложението на фиторемедиацията е ограничено до терени с по-ниски концентрации на замърсители. Приложението на фиторемедиацията се ограничава до терени, в които замърсителите са локализирани в рамките на дълбочината, до която достигат корените на използваните растения. Хранителната верига може да се повлияе неблагоприятно от разграждането на химикали. Въздухът може да се замърси при горене на листата и стволите на растенията, съдържащи опасни химикали.

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">• След въвеждането на растенията, дивите животни могат спокойно да се развиват в допреди необитаваната зоната.• Почистващата дейност се захранва със светлинна енергия. | |
|--|--|

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- Albergaria José Tomás, F. G. Martins, M. C. M. Alvim-Ferraz, C. Delerue-Matos, (2014). Multiple Linear Regression and Artificial Neural Networks to Predict Time and Efficiency of Soil Vapor Extraction. *Water Air Soil Pollut* 225:2058.
- Andreozzi Roberto, Vincenzo Caprio, Amedeo Insola, Raffaele Marotta, (1999). Advanced oxidation processes (AOP) for water purification and recovery. *Catalysis Today* 53 (1999) 51–59.
- Baker A.J.M, Brooks R.R., (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1:81-126.
- Brooks R.R., Lee J., Jaffre T., (1974). Some New Zealand and New Caledonian plant accumulators of nickel. *Journal of Ecology* 62: 493-499.
- Brooks R.R., Lee J., Reeves R.D., Jaffre T., (1977). Detection of nicheliferos rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *Journal of Geochemical Exploration* 7: 49-57.
- Cameron, R.E., (1992). Guide to Site and Soil Description for Hazardous Waste Site Characterization. Volume 1: Metals. Environmental Protection Agency EPA/600/4-91/029.
- Carter, A., (2000). How pesticides get into water – and proposed reduction measures. *Pesticide Outlook*, 2000, 149-156.
- Celik, A and Demirbas A., (2005). A Removal of heavy metal ions from aqueous solutions via adsorption onto modified lignin from pulping wastes. *Energy Sources* Volume: 27, Issue 12: 1167-1177.
- Chaney R., Malik M., Li Y.M., Brown S.L., Brewer E.P., Angle J.S., Baker A.J.M., (1997). Phytoremediation of soil metals. *Current Opinion in Biotechnology* 8: 279-284.

- Chen Zhi-Feng and Ying Guang-Guo, (2015). Occurrence, fate and ecological risk of five typical azole fungicides as therapeutic and personal care products in the environment: A review. *Environment International* Volume 84: 142–153.
- Datta AS, A Chakraborty, SS De Dalal, SC Lahiri, (2014). Fluoride contamination of ground water in West Bengal, India Datta, Chakraborty, De Dalal, Lahiri 241 241 Fluoride Contamination of Underground Water in West Bengal, India. Research report Fluoride 47(3)241–248.
- Dermont G., Bergeron M., Mercier G., Richer- Laflèche M., (2008). Soil washing for metal removal: A review of physical/chemical technologies and field applications. *Journal of Hazardous Materials* Volume 152, Issue 1: 1–31.
- Denix, (1995). Natural attenuation for petroleum-contaminated sites at federal facilities. Defense Environmental Network and Information exchange, <http://www.denix.osd.mil/denix/Public/Library/Attenuation/attenuation.html>.
- Ellis D.R., Salt D.E., (2003). Plants, selenium and human health. *Current Opinion in Plant Biology* 6: 273-279.
- EPA/630/R-95/002F April 1998 Guidelines for Ecological Risk Assessment (Published on May 14, 1998, Federal Register 63(93):26846-26924.
- Feng Y., Zhang C., Zhong, Z., (2015). Pump-and-Treat Remediation for Organophosphorus Contaminated Groundwater, in an Agrochemical Brownfield International Conference on Energy, Environment and Chemical Engineering (ICEECE) Bangkok, Thailand June 28-29 2015. Pages: 24-28.
- Fulekar M.H., Geetha M, (2008). Bioremediation of chlorpyrifos by *Pseudomonas aeruginosa* using scale up technique. *Journal of Applied Biosciences*, 12: 657-660.
- Fulekar M.H., (2009). Bioremediation of fenvalerate by *Pseudomonas aeruginosa* in a scale up bioreactor. *Romanian Biotechnological Letters*, 14 (6): 4900-4905.
- Fulekar M.H., (2010). *Environmental Biotechnology*. CRC Press and Science Publisher, USA.
- Gemici, Ü., Tarcan, G., Helvacı, C., Somay, A.M., (2008). High arsenic and boron concentrations in groundwaters related to mining activity in the bigadiç borate deposits (Western Turkey). *Appl. Geochem.* 23 (8), 2462–2476.
- Glossary of Environment Statistics, Studies in Methods, Series F, No. 67, United Nations, New York, 1997 (<http://stats.oecd.org/glossary> from available 10.11.2015).
- Goodarzi, F and Huggins, FE, (2001). Monitoring the species of arsenic, chromium and nickel in milled coal, bottom ash and fly ash from a pulverized coal-fired power plant in western Canada. *Journal of Environmental Monitoring* Volume: 3, Issue: 1: 1-6.

- Grasso, D., (1993). Hazardous waste site remediation, source control. Connecticut: Lewis Publisher Inc.
- Hildenbrand Zacariah L., Alexandra Osorio, Doug D. Carlton Jr., Brian E. Fontenot, Jayme L. Walton, Laura R. Hunt, Hyppolite Oka, Dan Hopkins, Bryan Bjorndal, and Kevin A. Schug, (2015). Rapid Analysis of Eukaryotic Bioluminescence to Assess Potential Groundwater Contamination Events. Hindawi Publishing Corporation Journal of Chemistry: 1-6.
- Ikonomou M.G., P. Sather, Jeong-Eun Oh, Won-Yong Choi, Yoon-Seok Chang, (2002). PCB levels and congener patterns from Korean municipal waste incinerator stack emissions. Chemosphere 49: 205–216.
- Jadia C.D., Fulekar M. H., (2009). Phytoremediation of heavy metals: Recent techniques. African Journal of Biotechnology Vol. 8 (6), pp. 921-928.
- Khan Faisal I, Tahir Husain, Ramzi Hejazi, (2004). An overview and analysis of site remediation Technologies. Journal of Environmental Management 71: 95–122.
- Khan, F.I., Husain, T., (2003). Evaluation of a petroleum hydrocarbon contaminated site for natural attenuation using ‘RBMNA’ methodology. Environmental Modeling and Software 18, 179–194.
- Khan S., Q. Cao, Y. M. Zheng, Y. Z. Huang, and Y. G. Zhu, (2008). Health risks of heavy metals in contaminated soils and food crops irrigated with wastewater in Beijing, China. Environmental Pollution, vol. 152, no. 3, pp. 686–692.
- Khan, K., Lu, Y., Khan, H., Ishtiaq, M., Khan, S., Waqas, M., Wei, L., & Wang, T., (2013a). Heavy metals in agricultural soils and crops and their health risks in Swat District, northern Pakistan. Food and Chemical Toxicology, 58, 449–458.
- Khan, K., Lu, Y., Khan, H., Zakir, S., Ihsanullah, Khan, S., Khan, A. A., Wei, L., & Wang, T., (2013b). Health risks associated with heavy metals in the drinking water of Swat, northern Pakistan. Journal of Environmental Sciences, 25, 2003– 2013.
- Kinney CA, Mandernack KW, Moiser AR, (2005). Laboratory investigations into the effects of the pesticides mancozeb, chlorothalonil, and prosulfuron on nitrous oxide and nitric oxide production in fertilized soil. Soil Biol Biochem 37: 837–850.
- Kreuger J, Peterson M, Lundgren E., (1999). Agricultural inputs of pesticide residues to stream and pond sediments in a small catchment in Southern Sweden. Bull Environ Contam Toxicol 62: 55–62.

- Kumar A, Bisht B.S, Joshi V.D., Dhewa T., (2011). Review on Bioremediation of Polluted Environment: A Management Tool. *International Journal of Environmental Science*. Volume 1, No.6: 1079-1093.
- Kumar Adarsh and Kumar Maiti Subodh, (2015). Assessment of potentially toxic heavy metal contamination in agricultural fields, sediment, and water from an abandoned chromite-asbestos mine waste of Roro hill, Chaibasa, India *Environ Earth Sci*. 74: 2617–2633.
- Mangunwardoyo W, Sudjarwo T, Patria MP., (2013). Bioremediation of effluent wastewater treatment plant Bojongsoang Bandung Indonesia using consortium aquatic plants and animals. *Int J Res Rev Appl Sci* 14(1):150–160.
- Margesin, R., Schinner, F., (2001). Bioremediation (natural attenuation and biostimulation) of diesel-oil-contaminated soil in an alpine glacier skiing area. *Appl. Environ. Microbiol.* 67, 3127-3133.
- Massmann, G., Sültenfuß, J., Dünnebier, U., Knappe, A., Taute, T., Pekdeger, A., (2008). Investigation of groundwater residence times during bank filtration in berlin: a multitracer approach. *Hydrol. Process*. 22 (6), 788–801.
- Milner M.J., Kochian L.V., (2008). Investigating heavy-metal hyperaccumulation using *Thlaspi caerulescens* as a model system. *Annals of Botany*. 102: 3-13.
- Mohamed A.M.I., Nabil El-menshawy, Amany M. Saif, (2007). Remediation of saturated soil contaminated with petroleum products using air sparging with thermal enhancement Volume 83, Issue 3: 339–350.
- Mulligan C.N., R.N. Yong, B.F. Gibbs (2001). Remediation technologies for metal-contaminated soils and groundwater: an evaluation. *Engineering Geology* Volume 60, Issues 1–4: 193–207.
- Nawab, J., Khan, S., Shah, M. T., Khan, K., Huang Q., & Ali, R., (2015) Quantification of heavy metals in mining affected soil and their bioaccumulation in native plant species. *International Journal of Phytoremediation*, 17, 801–813.
- Ng Y.S., B. SenGupta, M.A.Hashim, (2014). Performance Evaluation of Two-Stage Electrokinetic Washing as Soil Remediation Method for Lead Removal using Different Wash Solutions. *Electrochimica Acta* 147: 9–18.
- Ngole V. M. and G. I. E. Ekosse, (2012). Copper, nickel and zinc contamination in soils within the precincts of mining and landfilling environments. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 9: 485–494.
- Nicholas J. Bero, Matthew D. Ruark, Birl Lowery, (2016). Bromide and chloride tracer application to determine sufficiency of plot size and well depth placement to capture

- preferential flow and solute leaching. *Geoderma* Volume 262, 15 January 2016, Pages 94–100.
- Nriagu, J. O., (1988). Production and uses of Chromium. In Jo. Nriagu, & E. Niebner (Eds.), *Chromium in the natural and human environments* (pp. 81–104). New York: Wiley.
- Pandey B. and Fulekar M.H., (2012). Bioremediation technology: A new horizon for environmental clean-up. *Biology and Medicine*, 4 (1): 51-59, 2012
- Pastircakova K., (2004). Determination of trace metal concentration in ashes from various biomass materials. *Energy Edu. Sci. Technol.* 13: 97-104.
- Parween Talat, Sumira Jan, Sumira Mahmooduzzafar, Tasneem Fatma and Zahid Hameed Siddiqui, (2016). Selective Effect of Pesticides on Plant A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 56: 160–179.
- Perelo Louisa Wessels, (2010). Review: *In situ* and bioremediation of organic pollutants in aquatic sediments. *Journal of Hazardous Materials* 177: 81–89.
- Petersen DG, Dahllof I, Nielsen LP., (2004). Effects of zinc pyriithione and copper pyriithione on microbial community function and structure in sediments. *Environ Toxicol Chem.* 23: 921–928.
- Prasad M.N.V., Helena Freitas, Stefan Fraenzle, Simone Wuenschman, Bernd Markert, (2010). Knowledge explosion in phytotechnologies for environmental solutions. *Environmental Pollution* 158 (2010) 18–23.
- Ptak Corey and McBride Murray, (2015). Organically Complexed Iron Enhances Bioavailability of Antimony to maize (*Zea mays*) Seedling in Organic Soil. *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 34, No. 12, pp. 2732–2738.
- Radovanovi Dragana Đ., Zeljko J. Kamberovi, Marija S. Kora and Jelena R. Rogan, (2016). Solidified structure and leaching properties of metallurgical wastewater treatment sludge after solidification/stabilization process *Journal of Environmental Science and Health, Part A* Vol. 51, No. 1, 34-43.
- Reeves R.D., (2006). Hyperaccumulation of trace elements by plants. In Morel J.L., Echevarria G., Goncharova N., eds. *Phytoremediation of metal-contaminated soil*. NATO science series:IV:earth and environment sciences. 68:New York, NY, USA:Springer,1-25.
- Reeves R.D., Baker A.J.M., (2000). Metal accumulating plants. In Raskin I. Ensley B.D. eds. *Phytoremediation of toxic metals:using plants to clean up the environment*. New York, NY, USA: John Wiley, 193-229.
- Roth, J.A., Debelak, K.A., and Feather, K.F., (1983). Removal rate of zinc from coal bottom ash in aqueous solutions, *Water Research* 17/9, 1139-1143.

- Sharma Shilpi, (2012). Bioremediation: Features, Strategies and applications. Asian Journal of Pharmacy and Life Science. Vol. 2 (2).
- Sasmaz Merve, Bunyamin Akgul, Derya Yıldırım and Ahmet Sasmaz, (2016). Mercury uptake and phytotoxicity in terrestrial plants grown naturally in the Gumuskoy (Kutahya) mining area, Turkey. International Journal of Phytoremediation. Vol. 18, No. 1: 69-76.
- Scheiber Laura, Carlos Ayora, Enric Vázquez-Suñé, Dioni I. Cendón, Albert Soler, Juan Carlos Baquero, (2016). Origin of high ammonium, arsenic and boron concentrations in the proximity of a mine: Natural vs. anthropogenic processes. Science of The Total Environment. Volume 541, 15 January 2016, Pages 655–666.
- Shukla Keshav Prasad, Nand Kumar Singh, Shivesh Sharma, (2010). Bioremediation: Developments, Current Practices and Perspectives. Genetic Engineering and Biotechnology Journal, Volume 2010: GEBJ-3
- Smith I, Carson B, (1977). Trace metals in the environment. Volume 2. Silver. Ann Arbor, MI, Ann Arbor Science Publishers, 469 pp.
- Sors T.G., Ellis D.R., Na G.N. Lahner B. Lee S. Leustek T. Pickering I.J., Salt D.E., (2005). Analysis of sulfur and selenium assimilation in Astragalus plants with varying capacities to accumulate of lead and cadmium in transgenic plants. Nature Biotechnology 21:914-919.
- Sud Dhiraj, Garima Mahajan, M.P. Kaur, (2008). Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions – A review Bioresource Technology Volume 99, Issue 14: 6017–6027.
- Tara M. Clancya, Kathryn V. Snyder, Raghav Reddy, Antonio Lanzirrotti, Susan E. Amrosec, Lutgarde Raskina, Kim F. Haye, (2015). Evaluating the cement stabilization of arsenic-bearing iron wastes from drinking water treatment. Journal of Hazardous Materials 300 522–529.
- Tariq, S. R., Shah, M. H., Shaheen, N., Khaliq, A., Manzoor, S., & Jaffar, M., (2006). Multivariate analysis of trace metal levels in tannery effluents in relation to soil and water: A case study from Peshawar, Pakistan. Journal of Environmental Management, 79(1), 20–29.
- Thapa B, Kumar AKC, Ghimire A., (2012). A review on bioremediation of petroleum hydrocarbon contaminants in soil. Kathmandu Univ J Sci Eng Tech 8(1):164–170.
- Thibodeaux, L.J., (2005) .Recent advances in our understanding of sediment –to-water contaminant fluxes: The soluble release fraction. Aquatic Ecosystem Health and Management Society. 8. 1-9.

- Thuß, U., Herzs Schuh, R., Popp, P., Ehrlich, Chr., and Kalkoff, W.-D., (1997). PCDD/F in flue gas and in bottom ash of lignite domestic combustion and the role of the salt content of the burned briquettes, *Chemosphere* 34, 1091-1103.
- USEPA, (1995). How to Evaluate alternative cleanup technologies for underground storage tank sites. Office of Solid Waste and Emergency Response, US Environmental Protection Agency. Publication # EPA 510-B-95-007, Washington, DC.
- Vidali M., (2001). Bioremediation an Overview. *Pure and Applied Chemistry* 73, NO:7 1163-1172.
- Wang, Y., Ren, D., and Zhao, F., (1999). Comparative leaching experiments for trace elements in raw coal, laboratory ash, fly ash and bottom ash, *International Journal of Coal Geology* 40, 103-108.
- Wei Yan-Li, Lian-Jun Bao, Chen-Chou Wu, Zai-Cheng He, Eddy Y. Zeng, (2015). Assessing the effects of urbanization on the environment with soil legacy and current-use insecticides: A case study in the Pearl River Delta, China a, *Science of the Total Environment* 514: 409–417.
- Wei, B., & Yang, L., (2010). A review of heavy metal contaminations in urban soils, urban road dusts and agricultural soils from China. *Microchemical Journal*, 94, 99–107.
- William, R. D., Burrill, L. C., Ball, D., Miller, T. L., Parker, R., Al-Khatib, K., Callihan, R. H., Eberlein, C. and Morishita, D. W., (1995). *Pacific Northwest Weed Control Handbook*. Oregon State University Extension Service, Corvallis, OR, p. 358.
- Yanai Junta, Fang-Jie Zhao, Steve P. McGrath, Takashi Kosaki, (2006). Effect of soil characteristics on Cd uptake by the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Environmental Pollution* Volume 139, Issue 1: 167–175.
- Yap Chee Kong and Cheng Wan Hee, (2015). Beryllium Levels in the Mangrove Snail *Nerita lineata* and Surface Sediments from Peninsular Malaysian Mangrove Area (Tahap Berilium dalam Siput Bakau *Nerita lineata* dan Sedimen Permukaan daripada Kawasan Bakau Semenanjung Malaysia). *Sains Malaysiana* 44(7): 965–971.
- Yavuz Merve, Marco Oggioni, Ulku Yetis, Filiz B. Dilek, (2015). Biocides in drinking water system of Ankara, Turkey. *Desalination and Water Treatment* 53: 3253–3262.
- Zhang Hua, Xinbin Feng, Chengxin Jiang, Qiuhua Li, Yi Liu, Chunhao Gu, Lihai Shang, Ping Li, Yan Lin, Thorjörn Larssen, (2014). Understanding the paradox of selenium contamination in mercury mining areas: High soil content and low accumulation in rice. *Environmental Pollution* 188:27-36.



Funded by the
Erasmus+ Programme
of the European Union

Zhang M. K., Z. Y. Liu, and H. Wang, (2010). Use of single extraction methods to predict bioavailability of heavy metals in polluted soils to rice. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 41, no. 7, pp. 820–831.

РО 2: БИОРЕМЕДИЦИЯ НА ОПАСНИ ЗАМЪРСИТЕЛИ

1. Биоремедиация на опасни замърсители

През изминалите две столетия поредица технологични постижения предоставиха значителни ползи за здравето на човека, производството на храни, жилищното настаняване, комфорта, транспорта и туризма. Тези дейности на човека изискват разработването на нови химикали, материали и огромни количества енергия, експлоатират природните ресурси и произвеждат големи количества отпадъци, генерирани от човека, които замърсяват околната среда. Замърсяването на въздуха, водите и почвите има разнообразен произход и продължава да бъде главен проблем по целия свят. Околната среда е претърпяла множество вредни въздействия в резултат от освобождаването на огромни количества органични и неорганични съединения при изгарянето на изкопаемите горива, минното дело, промишлените и битовите отпадъци (канализационни утайки/отпадъчни води) и нехигиеничният подход на бързо нарастващото население. Замърсители, изпускани от дейността на човека, се свързват с екологични катастрофи, каквито са например киселинните дъждове и глобалното затопляне. Замърсените екосистеми оказват въздействие върху растенията, микроорганизмите, водните организми и животоподдържащите функции, като имобилизация, минерализация и нитрификация, което в крайна сметка се отразява на човешкото здраве, както и на здравето на екосистемата. Ето защо ситуацията в момента изисква неотложни действия за възстановяване на правилното функциониране на кръговрата на веществата, който е движещата сила за живота на нашата планета. Кръговратът на веществата се диктува от метаболитната активност на микробните съобщества, притежаващи способност да предотвратяват достигането на замърсители до биосферата.

Опити за ремедиация на замърсената околна среда в дадена зона могат да бъдат направени посредством конвенционални или биологически мерки. Подборът и приложението на определени процедури за ремедиация зависи от типа и мащаба на замърсяването. Учените започват да достигат до консенус за намаляване на отделянето на замърсители и за смекчаване на тяхното въздействие чрез биоремедиация. Методите за биоремедиация се разглеждат като ефективни, екологични и рентабилни алтернативи на технологиите, основаващи се на физикохимична обработка за ремедиация на

замърсените екосистеми. Предимствата на биоремедиацията пред конвенционалните методи за ремедиация включват следните:

- елиминиране, а не пренос на замърсители в друга среда;
- свеждане до минимум на излагането на работниците на действието на замърсителите;
- ниска енергийна потребност;
- възможност за съкращаване на ремедиационния процес;
- по-ниски разходи;
- по-малка или никаква вреда за екосистемите.

1.1. Биоремедиация на замърсени с тежки метали екосистеми

Всички метали, независимо дали са жизнено необходими или не, могат да проявяват токсичен ефект във високи концентрации. Веднъж попаднал в живия организъм, даден замърсител може да прояви увреждащо действие. Влиянието на един замърсител следователно е пропорционално на концентрацията му в мястото на неговото действие. Токсичността на металите се засилва в киселинна среда, при екосистемите с дефицит на хранителни вещества и при лошо физическо състояние.

Може да бъде направен опит за ремедиация с помощта на конвенционални мерки, като депониране и излужване, изкопни работи и заравяне или „изпиране“ на почвата. Широкото използване на депа за твърд отпадък за изхвърляне на битови и промишлени отпадъци, както и неправилното приложение на агрохимични химикали, е довело до генериране на огромно количество инфилтрат, замърсяващ подпочвените води, а потенциалното замърсяване на подпочвените води от инфилтрата е наложило създаването на новаторски инженерни проекти за депа на отпадъци. Ремедиацията на екосистемите, замърсени с тежки метали, би могла да се провежда с помощта на процеси като йонообмен, утаяване, обратна осмоза, изпаряване или химична редукция. Поради проблеми, като например замърсяване на мембраните, високи разходи, висок разход на енергия и ниска ефективност на отстраняване, тези процеси обаче се оказват слабо приложими в промишлеността. Като цяло, при избора на най-подходящ пречиствателен метод за отстраняване на тежки метали (като Cu, Ag, Pb и Zn) и цианиди от замърсени екосистеми ключови фактори се явяват техническата приложимост, рентабилността и опростеността на съоръженията. По-ефективни при отстраняването на тежки метали от замърсените екосистеми обаче са най-новите технологии, като фотокаталитична

редукция, сърфактантни мембрани, течни мембрани и повърхностно комплексообразуване.

1.1.1. Микробиологични системи за очистване (микроремедиация)

Микроорганизмите поемат тежките метали активно (биоакумулиране) и/или пасивно (адсорбция). Клетъчните стени на микроорганизмите, които се състоят главно от полизахариди, липиди и белтъци, предлагат множество функционални групи, в това число карбоксилатни, хидроксилни, аминокислотни и фосфатни групи, способни да свързват йоните на тежките метали. Измежду различните методи, основаващи се на микроорганизми, процесът на биосорбция изглежда по-реалистичен за приложение в големи мащаби в сравнение с биоакумулацията, при която микроорганизмите изискват добавяне на хранителни вещества за активно поглъщане на тежки метали, което повишава биологичната или химичната потребност от кислород в отпадъците. Освен това, поддържането на балансирана популация от микроорганизми се затруднява много поради токсичността на тежките метали и други фактори на средата. Потенциални микробиологични агенти за отстраняване на тежки метали от водни разтвори са фунгите от родовете *Penicillium*, *Aspergillus* и *Rhizopus*. Ендифитните бактерии, за които е известно, че са благоприятни за растенията, също подобряват способността на растенията гостоприемници да акумулират по-високи нива тежки метали.

Микроорганизмите са повсеместно разпространени в средите, замърсени с тежки метали, и лесно могат да преобразуват тези метали до нетоксични форми. При процесите на биоремедиация микроорганизмите минерализират органичните съединения до крайни продукти, като CO_2 или H_2O , или до междинни метаболити, които се използват като първични субстрати за растеж на клетките. Известни са различни механизми на биоремедиация, включително биосорбция, взаимодействия метал–микроорганизъм, биоакумулиране, биоминерализация, биотрансформация и биоизлужване. Микроорганизмите могат да разтварят металите и да редуцират или окисляват преходните метали. Различните методи, чрез които микроорганизмите възстановяват околната среда, включват окисление, свързване, имобилизация, преобразуване до летливи форми и трансформация на тежки метали. Биоремедиацията в дадена зона може да даде успешен резултат чрез подхода на проектираните микроорганизми и благодарение на знанията за механизмите на регулация на растежа и активността на микроорганизмите в замърсените зони, метаболитния им капацитет и техния отговор към промените в околната среда.

Микроремедиация чрез адсорбция

Тежките метали могат да бъдат биосорбирани в свързващи центрове по клетките на микроорганизмите без разход на енергия. Сред разнообразието от реактивоспособни съединения, свързани с бактериалните клетъчни стени, от особено значение са извънклетъчните полимери (секретирани в средата съединения с високо молекулно тегло) и е добре известно, че оказват съществено влияние върху киселинно-основните свойства и абсорбцията на метали. Секретираните извънклетъчни полимерни вещества притежават много добра способност за свързване на тежки метали в комплекси с помощта на различни механизми, включително обмен на протони и микропреципитация на метали.

Микроремедиация по физиолого-биохимичен механизъм

Биосорбцията е процес, който се основава на по-висока активност на биосорбента към сорбата (йоните на металите), и продължава до установяване на равновесие между двата компонента. *Saccharomyces cerevisiae* играе ролята на биосорбент за отстраняване на Zn (II) и Cd (II) по йонообменния механизъм. *Cunninghamella elegans* е многообещаващ сорбент за тежки метали, изхвърляни с текстилните отпадъчни води. Фунгите са потенциални биокатализатори, които да достигнат до тежките метали и да ги преобразуват до по-слабо токсични съединения. Някои фунги, като *Klebsiella oxytoca*, *Allescheriella* sp., *Stachybotrys* sp., *Phlebia* sp., *Pleurotus pulmonarius*, *Botryosphaeria rhodina*, имат потенциал за свързване на метали. Почви, замърсени с Pb (II), могат да бъдат ремедиирани например от видовете фунги *A. parasitica* и *Cephalosporium aphidicola* посредством процес на биосорбция. Живакоустойчиви гъби (*Hymenoscyphus ericae*, *Neocosmospora vasinfecta* и *Verticillium terrestre*) са показали способност да биотрансформират живак под формата на Hg(II) в нетоксична форма. Голяма част от замърсителите са хидрофобни и се поемат от микроорганизмите с помощта на секреция на различни биосърфактанти и директно свързване клетка-замърсител. Биосърфактантите образуват по-здрави йонни връзки с металите и образуват комплекси преди да протече десорбция от почвената матрица и преминаване във водната фаза поради ниско повърхностно напрежение на междуфазовата повърхност.

Биоремедиацията може да включва също и аеробни или анаеробни микробиологични процеси. Аеробното разграждане често включва добавяне на кислородни атоми при реакциите, катализирани от монооксигенази, диоксигенази, оксидативни дехалогенази, или на химично реактивоспособни кислородни атоми, генерирани от ензими, като например лигнинази или пероксидази. Процесите на анаеробно разграждане на

замърсители включват първоначални реакции за активиране, следвани от окислителен катаболизъм с участието на безкислородни електронни акцептори. Методът на имобилизация се използва за намаляване на мобилизирането на тежки метали от замърсените терени чрез промяна в агрегатното състояние или химичната форма на токсичните метали. Обработката чрез втвърдяване включва смесване на химични реагенти в замърсените терени или утаяване на хидроксиди. В замърсените зони микроорганизмите мобилизират тежките метали чрез извличане, хелатообразуване, метилиране и окислително-редукционна трансформация на токсичните метали. Не е възможно тежките метали да бъдат напълно разрушени, но при процеса се променя тяхната степен на окисление или органичните им комплекси, което ги превръща във водоразтворими, води до тяхното утаяване или ги прави по-слабо токсични. При биоремедиацията на замърсени терени микроорганизмите използват тежките метали и микроелементите като крайни акцептори на кислород или ги редуцират по механизма на детоксификация. Микроорганизмите отстраняват тежките метали по механизмите, които използват за набавяне на енергия чрез окислително-редукционни реакции с участието на метали или за справяне с токсични метали посредством ензимни или неензимни процеси. Два основни механизма за развитие на устойчивост при бактериите са детоксификацията (преобразуването на токсичната форма на металите и превръщането ѝ в недостъпна) и активен транспорт чрез ефлуксни помпи за изхвърляне на токсичните метали от клетките. Главната окислително-редукционна реакция (окисление и редукция) протича в почвите между токсичните метали и микроорганизмите; микроорганизмите играят ролята на окислител на тежките метали и им отнемат електрони, които се поемат от алтернативни акцептори на електрони (нитрати, сулфати и железни оксиди).

В аеробни условия кислородът действа като акцептор на електрони, докато в анаеробни микроорганизмите окисляват органични замърсители, като редуцират електронни акцептори. Един микроорганизъм получава енергия за растеж, като окислява органично съединение с Fe(III) или Mn(IV) в ролята на акцептор на електрони. Анаеробното разграждане на органични замърсители се стимулира при по-висока наличност на Fe(III) за микробна редукция. Биодеграцията на хлорините от замърсителите протича чрез редукционно дехлориране, при което замърсители като хлорирани разтворители играят ролята на акцептори на електрони при дишането. Микроорганизмите намаляват степента на окисление на металите и променят разтворимостта им, като *Geobacter* (вид бактерия, характеризираща се с анаеробно дишане, която се открива в анаеробни

условия в почвите и водните седименти), и редуцират урана от разтворима (U^{6+}) до неразтворима форма (U^{4+}). Различни защитни системи (отделяне, компартментализация, комплексобразуване и синтез на свързващи белтъци и пептиди) смекчават стреса, дължащ се на токсичните метали. Известно е, че тези транскрипционни фактори, свързващи метали, посредничат в процесите на хормонална и редокс сигнализация в контекста на излагане на токсични метали (Cd, Zn, Hg, Cu, Au, Ag, Co, Ni и Bi).

1.1.2. Фиторемедиация на тежки метали

Фиторемедиацията представлява екологично чиста технология за *in situ* ремедиация, захранвана от слънчева енергия. Растенията и асоциираните с тях микроорганизми могат да се използват за частично отстраняване на тежки метали или за напълна ремедиация на определени замърсители от почвите, утайки, седименти, отпадни води и подземните води. При фиторемедиацията на тежки метали, първоначалният етап е фитоекстракция, поемането на замърсяващи тежки метали от почвата или водата чрез корените на растенията и тяхното транслокиране и акумулиране в биомасата. Транслокацията на метали до стъблата и клоните се явява важен биохимичен процес, който е желателен при ефективната фитоекстракция. Следващият по важност процес на фиторемедиация и фитофилтрацията, която включва ризофилтрация, бластофилтрация и каулофилтрация¹. При това металите се абсорбират или адсорбират, като по този начин се свежда до минимум придвижването им в почвата и подпочвените води. Освен гореспоменатите процеси фитостабилизацията и фитоимобилизацията ограничават подвижността и бионаличността на металите в околната среда. Растенията извършват имобилизиране на тежките метали, намиращи се в почвите, чрез сорбция през корените, преципитиране, комплексобразуване и намаляване на валентността на металите в ризосферата. Някои тежки метали, като Hg и Se, абсорбирани от замърсени почви от растенията, се преобразуват до летливи форми и впоследствие се отделят в атмосферата чрез процеса на фитоизпарение. Този процес не отстранява металите напълно, а по-скоро ги прехвърля от една среда (почва или вода) в друга (атмосферата), откъдето те отново могат да попаднат във водата и почвата.

Отстраняването на тежки метали чрез фиторемедиация, особено чрез хиперакумулиращите растения за разграждане и детоксифициране на замърсители, се радва на широко внимание поради своята висока ефективност и рентабилност. Критериите, използвани за хиперакумулацията, варират според вида на метала.

¹ От латински *caulis* = издънка, филиз, вейка, стрък, бел. пр.

Хиперакумулиращите растения проявяват по-висока толерантност към тежки метали и по-добри способности за натрупване в сравнение с другите растения. Приложението на хиперакумулаторите на тежки метали обаче е ограничено поради трудностите при откриването на такива растения, бавния им растеж и по-ниския добив на биомаса. Това прави процеса времеемък и следователно неприложим за терени с бързо замърсяване или за обработка на канализационни отпадъци. Ризосферните микроорганизми, като арбускуларните микоризни гъби и ризобактериите, стимулиращи растежа на растенията, които играят важна роля за растежа и/или толерантността към метали посредством различни механизми, са благоприятни за създаването на план за фиторемедиация за подбиране на подходящи мултифункционални комбинации от микроорганизми от ризосферата. Вероятно главната роля при фиторемедиацията се играе от ризосферата и отстраняването на замърсители се осъществява благодарение на съвместното действие на растенията и микроорганизмите. Основната причина за повишеното отстраняване на металите в ризосферата вероятно е увеличаването на числеността и метаболитните активности на микроорганизмите. При процеса на разграждане в ризосферата токсичността на металите за растенията може да се понижи с помощта на използване на бактерии, стимулиращи растежа на растенията – свободно живеещи почвени микроорганизми, които оказват благоприятно въздействие върху растежа на растенита. При този процес растенията могат да стимулират около 10–100 пъти микробната активност чрез секретирание на екsudати, съдържащи въглехидрати, аминокиселини, флавоноиди и др. В замяна ризосферните бактерии допринасят за изграждането на по-големи корени, като по този начин спомагат за увеличаване на преживяемостта на растенията.

1.2. Биоремедиация на замърсени с органични съединения екосистеми

Суровият петрол и рафинираните му продукти са главният източник на органични съединения, замърсяващи екосистемите. Нефтът се състои от три основни въглеводородни фракции (парафин, нафтени и ароматни). Всяка една от тях обикновено се състои от стотици различни въглеводородни молекули и няма дефиниран състав. Поради това фракциите не са сходни по отношение на своята летливост, бионаличност, токсичност, податливост на разграждане и продължителна устойчивост в околната среда. Разливите са трудни за избягване по време на преработката и доставките на нефта. Този сложен набор от съединения представлява огомно предизвикателство пред разработването на ефективни стратегии за биоремедиация.

Веднъж достигнали околната среда, нефтените въглеводороди могат да доведат до щети по няколко причини. Първичното биологично въздействие се дължи на това, че нефтеният слой има блокиращ ефект за водата, хранителните вещества, O₂ и достъпа на светлина. Цитотоксичният и мутагенният потенциал на въглеводородите водят до дългосрочни последици от замърсяването. Дадено токсично съединение с по-висока степен на бионаличност не само показва по-силни вредни ефекти, но също така се явява и по-достъпно за биодegradация. За разлика от едно такова съединение здраво адсорбираната фракция има по-ниска токсичност, но е по-трудна за почистване. Това основно правило има отношение към проектирането на биологични стратегии за почистване на замърсени почви или седименти, тъй като нефтените въглеводороди имат склонност да се адсорбират здраво върху тези носещи среди.

Изборът на подходяща стратегия за ремедиация разчита на физикохимичните свойства на замърсената носеща среда и на мащаба и възрастта на разлива. Целта на биоремедиацията е да преодолее ограничаващите фактори, които забавят скоростта на биодegradация. Биоремедиацията на органични съединения може да бъде постигната или чрез *in situ*, или чрез *ex situ* обработване. При *in situ* методите, органичното замърсяване се третира на място. *Ex situ* технологиите включват извозване на замърсената почва до място, където може да бъде конструирана подходяща система на третиране за отстраняването на органичните замърсители. При нефтените въглеводороди може да има четири възможни сценария:

1. Свръх голямото количество въглероден източник, дължащо се на постъпилите в средата въглеводороди, довежда до дефицит на другите хранителни вещества. Внасянето на азот и фосфор може да възстанови баланса и да повиши скоростите на биодegradация.
2. Недостатъчното количество достъпен кислород намалява скоростите на биодegradация. С инжектиране на въздух или просто разбъркване може да се преодолее недостигът на кислород при аеробното разграждане на въглеводороди.
3. Ниска бионаличност на въглеводородите. Добавянето на екологично чисти повърхностно активни вещества (като нетоксичните и биоразградимите сурфактанти, синтезирани от микроорганизмите и растенията) може да подобри разтворимостта, а оттам – и бионаличността на въглеводородите.
4. Неефективен катаболитен капацитет на естествените микробни съобщества. Внасянето на чиста култура или на консорциум от микроорганизми, разграждащи въглеводороди, може да подобри скоростите на разграждане.

1.2.1. Микробиологична биоремедиация на органични замърсители

Основните стратегии за *in situ* ремедиация на почви, замърсени с въгледороди, са биостимулиране, биоаугментация и биовентилиране.

Порцесът на биостимулиране включва засилване на метаболизма на естествените микроорганизми чрез управление на факторите на средата и хранителните вещества. Когато естествените микробни същества не притежават желаните катаболитен потенциал, за реализиране на биоаугментация е необходимо внасяне на естествено присъстващи или на екзогенни микроорганизми, разграждащи въгледороди. С цел засилване на аеробното метаболизиране на органичните съединения се прилага биовентилиране с мрежа от перфорирани тръби за доставяне на въздух (или пасивно, или чрез форсирана аерация).

Най-широко използваните технологии за *ex situ* биоремедиация на замърсени с нефт почви са биокупчините, компостирането и култивирането на земя в контролирани условия (ландфарминг). Цели се ускоряване на разграждането на въгледороди чрез добавяне на евтини хранителни вещества и кислород.

При ландфарминга контролираното разпределяне на органични отпадъци по повърхността на почвата позволява естествено присъстващите микроорганизми да разграждат органичните замърсители в аеробни условия. Това е една от най-често прилаганите технологии за ремедиация на почви, замърсени с нефтени въгледороди. Тя включва обработване на тънък слой замърсена почва (с дебелина до 1.0 m) в заградено пространство, при което се прилагат хранителни вещества и аериране на почвата чрез периодична оран с цел стимулиране на биодegradацията на нефтените въгледороди и преобразуването им в летливи форми. Стратегиите за обработка варират в зависимост от площадките за ландфарминг и подлежат на адаптиране според мястоспецифичните характеристики, включително климат, местоположение, тип почва и температура. Може да се добавят хранителни подобрители, рН буфери и обемни пълнители за стимулиране на аерацията на косубстратите, микробния метаболизъм или бактериалните инокуланти и могат значително да повишат ефективността на биоремедиацията.

Биокупчините и компостирането в бразди на открито включват смесване на замърсената почва с органичен материал в качеството на обемен пълнител. Тази смес благоприятства микробната активност, като подобрява механичната структура на почвата, аерацията и поддържането на влага. Основната разлика между двете стратегии е аерацията и методологията. Докато компостите се аерират чрез периодично обръщане на сместа от почва и обемен пълнител с помощта на модифициран компостообръщач, при

биокупчините въздухът се доставя по мрежа от тръби. Биокупчините и компостирането на открито намират успешно приложение за ремедиация на широк спектър от замърсители.

1.2.2. Фиторемедиация на органични замърсители

Фиторемедиацията се основава на основни физиологични процеси, протичащи във висшите растения и асоциираните с тях микроорганизми, като транспирация, фотосинтеза, обмяна на веществата и минерално хранене. Растенията играят ролята на захранвани със слънчева енергия помпени и филтриращи системи, като поемат замърсители чрез корените си и ги транспортират/транслокират до различните растителни тъкани, където те биват метаболизирани, секвестирани или преобразувани до летливи форми. Фиторемедиацията разчита на корените на растенията, които подпомагат микробната активност чрез отделяне на метаболитни продукти и подобряване на аерацията, като в резултат се благоприятства биодеградацията на нефтените въглеводороди посредством микробните метаболитни пътища за разграждане или кометаболизъм. Ефективността на фиторемедиацията варира в зависимост от концентрацията на нефтени въглеводороди, дълбочината на замърсяването, климатичните условия и условията на почвена влага в даден терен, всички от които влияят на растежния потенциал на растенията. Растенията пускат корените си дълбоко в почвите, седиментите и водите, а корените могат да засмукват органични съединения и неорганични вещества; корените могат да стабилизират и свързват вещества по външната си повърхност и при взаимодействие с микроорганизмите в ризосферата. Поетите вещества могат да бъдат транспортирани, складиращи, преобразувани или акумулирани в различни клетки и тъкани на растението. Накрая надземните части на растението могат да обменят газове с атмосферата, което е предпоставка за поемане и освобождаване на молекули.

2. Перспективи

Рекомбинантните ДНК технологии позволяват получаване на ефективни растения и микроорганизми със специфични качества за биоремедиация на почви, води и активна утайка, които показват подобрен капацитет за разграждане на широк набор от химически замърсители. Генноинженерните организми притежават способност да издържат на неблагоприятни стресови ситуации и могат да се използват като биоремедиатори при различни и сложни условия на средата.

Генното инженерство е довело до разработването на „микробни биосензори“ за бързо и точно измерване на степента на замърсяване на даден терен. Разработени са най-различни биосензори за оценка на концентрациите на тежки метали и полуметали, като Hg, Cd, Ni, Cu и As. Генноинженерните ендофити и ризосферни бактерии за асоциирано с растенията разграждане на замърсители в почвите се смятат за една от най-многообещаващите нови технологии за ремедиация на терени, замърсени с метали. Демонстрирано е, че бактерии като *Escherichia coli* и *Moraxella* sp., които експресират фитохелатин, акумулират 25 пъти повече Cd или Hg в сравнение с дивия тип щамове.

Главното ограничение на фиторемедиационната технология е натрупването на замърсители или на техни метаболити в тъканите на растенията, при което се съкращава животът на растенията и се отделят замърсители в атмосферата в резултат от изпарението. Този проблем може да бъде сведен до минимум чрез манипулиране на толерантността към метали и потенциала на растенията за акумулиране и разграждане на разнообразни неорганични замърсители. Бактериалните гени, отговорни за разграждането на металите, могат да бъдат внесени в растения, за да се позволи разграждане на металите в тъканите на растенията. На преден план е приложението на генноинженерната биоремедиация, основаваща се на растения, за различни тежки метали, замърсяващи околната среда, поради своя екологично чист характер и понижената опасност за здравето в сравнение със стратегиите на физико-химичен принцип, които са по-неекологични и по-застрашаващи здравето на човека. В трансгенните растения могат да бъдат впрегнати различни гени от микроорганизми за детоксифициране и акумулиране на неорганични замърсители. Хелаторите, детоксифициращи метали, каквито са например металотионеините и фитохелатините, могат да придадат на растението резистентност, като повишават поемането, транспортирането и акумулирането на различни тежки метали. Бързо растящите растения, а също и тези, които дават голяма биомаса, като тополата, върбата и ятрофата, биха могли да намерят приложение, както за фиторемедиация, така и за производство на енергия. Сред растенията, които растат бързо и дават голяма биомаса, най-широко изследвана е тополата поради бързата скорост на растеж и потенциала за натрупване на голяма биомаса за кратко време (5–8 години). Много от хибридните разновидности тополи са генномодифицирани с гени от метаболизма на микроорганизмите и специфични транспортери за усилен ремедиация. Например гените за живак(II) редуктаза и γ -глутамил-цистеин синтетаза придават повишена устойчивост съответно към Hg и Cd и Cu благодарение на акумулирането на тези метали в по-високи

концентрации. Генноинженерни растения с множество внесени гени ще спомогнат за пълното разграждане на замърсителите, за да се гарантира, че събраната биомаса може да бъде използвана докрай за допълнителни ползи.

Стратегиите за проектирана биоремедиация включват или въвеждане на растежни стимулатори (донори/акцептори на електрони) в ризосферата за редуциране на тежките метали, или добавяне на хранителни вещества в замърсената почва за стимулиране на микробния растеж и на биоремедиационните свойства на микроорганизмите или генетично модифицираните растения. Постигнато е приложение на редица проектирани бактерии със способност за редукция на тежки метали чрез експресия на подобрени ензими, като хромат или уранил редуктаза, в специфична ризосфера за изпълняване на определена функция. Известни са също и генномодифицирани растения, образуващи специфични съединения, които могат да съдействат за ризосферната трансформация на тежки метали.

Главните недостатъци на фиторемедиационната технология се свеждат до складирането и акумулирането на замърсители в растителните материали и забавянето на ремедиационния процес, който често става незадоволителен при наличие на множество замърсители в замърсения терен. Удачното разрешение на тези проблеми е да се комбинира симбиозата микроорганизъм–растение в рамките на ризосферата или да бъдат въведени микроорганизми като ендوفити, с което да се позволи разграждане на замърсителите в растителните тъкани. Популацията на микроорганизмите в ризосферата е много по-висока по численост, отколкото в почви без растителност, което се дължи на благоприятстващото действие от страна на растенията чрез отделяне на хранителни вещества за микроорганизмите. Този подход е изпробван в лаборатория и ако се окаже успешен и в полеви условия, тази технология би могла да улесни ускореното отстраняване на замърсители, което от своя страна ще допринесе за натрупване на голямо количество растителна биомаса за биоенергия. Основните стратегии за приложение на биоремедиационните процеси включват подходите на биостимулиране и биоаугментация, водени от специални микроорганизми заедно с растения.

Освен с разгледаните по-горе стратегии, ремедиация на тежки метали и микроелементи може да се постигне и с нанотехнологията. Използването на наночастици, които подобряват способността на микроорганизмите да отстраняват токсични замърсители, се нарича „нанобиоремедиация“. Нанотехнологиите не само намаляват разходите по почистване на замърсените терени в голям мащаб, а също така скъсяват и процесното време. „Бионанотехнологията“, или „нанотехнологията чрез биотехнология“, е

биопроизводството на нанообекти или двуфункционални макромолекули, използвани като инструменти за конструиране или манипулиране на нанообекти. Голямото физиологично разнообразие, малките размери, податливостта на генетично манипулиране и контролирано култивиране правят микробните клетки идеални продуценти на голям набор от наноструктури – като се започне от естествени продукти, като полимери и магнитозоми, и се стигне до проектирани белтъци и белтъчни структури, като вирусоподобни белтъци, и адаптирани метални частици. Този иновативен метод би бил многообещаващ инструмент за справяне с ескалиращия проблем със замърсяването на околната среда с тежки метали и органични съединения.

2.1. Съвременни стратегии за биоремедиация

Съвременна стратегия за биоремедиация е използването на генетично модифицирани организми (микроорганизми и растения) (ГМО) за почистване на замърсената околна среда. За първи път този биотехнологичен метод се споменава в началото на 90-те години на XX век. Понастоящем учените прилагат генното инженерство за повишаване на способностите на даден организъм да метаболизира определени химикали, като например въглеводороди и пестициди. Този биотехнологичен метод се изследва интензивно за подобряване на разграждането на опасни отпадъци в лабораторни условия. Генетично модифицираните организми притежават по-голям капацитет за деградация и вече са били приложени с успех за разграждане на различни замърсители при контролирани условия. Генноинженерната технология е приложена вече при микроорганизми и растения като модерен метод за биоремедиация.

2.1.1. Генетично модифицирани микроорганизми за биоремедиация

Регулирането и оптимизирането на микробни процеси за биоремедиация е сложна система с много фактори. Те включват: съществуване на популация от микроорганизми, способни да разграждат замърсителите; наличност на замърсители, достъпни за микробната популация; факторите на средата. Някои учени твърдят, че използването на генетично модифицирани микроорганизми (ГММ) за биоремедиация е по-ефективно от прилагането на естествено присъстващи микроорганизми за същата цел.

2.1.2. Генетично модифицирани растения за биоремедиация

В природата над 450 вида растения (треви, слънчоглед, царевица, коноп, лен, люцерна, тютюн, върба, индийска горчица, топола, воден зюмбюл и др.) притежават способност да акумулират в себе си метали (Zn, Ni, Mn, Cu, Co и Cd), металоиди (As) и неметали (Se). Нещо повече, съчетаването на биотехнологичните методи с фиторемедиацията се

явява по-ефективен метод за ремедиация. Генетично модифицираните растения (ГМР) са успешно използвани като подход.

3. Заключение

Замърсяването на околната среда и глобалното затопляне са факт. Човешката дейност има значителен принос за тези проблеми. Те засягат населението по целия свят. Хората трябва да започнат да се отнасят отговорно към околната среда. Много по-трудно е отпадъците да се ремедираат, от това да се генерират. Ето защо много по-добре е да се избягва натрупването на отпадъци, отколкото те да се обработват или очистват след като вече са били формирани.

ИЗПОЛЗВАНА ЛИТЕРАТУРА

- Atlas R. M. (1995). Petroleum biodegradation and oil spill bioremediation. *Marine Pollution Bulletin*. 31: 178-182.
- Baker A.J.M, Brooks R.R., (1989). Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements. A review of their distribution, ecology and phytochemistry. *Biorecovery* 1:81-126.
- Boopathy R., (2000). Factors limiting bioremediation technologies. *Bioresource Technology* 74: 63-67.
- Brooks R.R., Lee J., Jaffre T., (1974). Some New Zealand and New Caledonian plant accumulators of nickel. *Journal of Ecology* 62: 493-499.
- Brooks R.R., Lee J., Reeves R.D., Jaffre T., (1977). Detection of nicheliferos rocks by analysis of herbarium specimens of indicator plants. *Journal of Geochemical Exploration* 7: 49-57.
- Camenzuli D., B. L. Freidman (2015). On-site and *in situ* remediation technologies applicable to petroleum hydrocarbon contaminated sites in the Antarctic and Arctic. *Polar Research* 34: 24492,
- Chaney R., Malik M., Li Y.M., Brown S.L., Brewer E.P., Angle J.S., Baker A.J.M., (1997). Phytoremediation of soil metals. *Current Opinion in Biotechnology* 8: 279-284.
- Ellis D.R., Salt D.E., (2003). Plants, selenium and human health. *Current Opinion in Plant Biology* 6: 273-279.

- Fuentes S, V. Méndez, P. Aguila, M. Seeger (2014). Bioremediation of petroleum hydrocarbons: catabolic genes, microbial communities, and applications. *Appl Microbiol Biotechnology* 98:4781–4794.
- Fulekar M.H., Geetha M, (2008). Bioremediation of chlorpyrifos by *Pseudomonas aeruginosa* using scale up technique. *Journal of Applied Biosciences*, 12: 657-660.
- Fulekar M.H., (2009). Bioremediation of fenvalerate by *Pseudomonas aeruginosa* in a scale up bioreactor. *Romanian Biotechnological Letters*, 14 (6): 4900-4905.
- Fulekar M.H., (2010). *Environmental Biotechnology*. CRC Press and Science Publisher, USA.
- Juwarkar A. A., S. K. Singh, A. Mudhoo. A comprehensive overview of elements in bioremediation. *Rev Environ Sci Biotechnol* (2010) 9:215–288
- Kang J. W. (2014). Removing environmental organic pollutants with bioremediation and phytoremediation. *Biotechnol Lett* 36:1129–1139.
- Mani D. and C. Kumar (2014). Biotechnological advances in bioremediation of heavy metals contaminated ecosystems: an overview with special reference to phytoremediation. *Int. J. Environ. Sci. Technol.* 11:843–872.
- Milner M.J., Kochian L.V., (2008). Investigating heavy-metal hyperaccumulation using *Thlaspi caerulescens* as a model system. *Annals of Botany*. 102: 3-13.
- Newman L. A., C. M. Reynolds (2004). Phytodegradation of organic compounds. *Current Opinion in Biotechnology*. 15:225–230.
- Pandey B. and Fulekar M.H., (2012). Bioremediation technology: A new horizon for environmental clean-up. *Biology and Medicine*, 4 (1): 51-59, 2012
- Rayu S., D. G. Karpouzas, B. K. Singh (2012). Emerging technologies in bioremediation: constraints and opportunities. *Biodegradation* 23:917–926
- Reeves R.D., (2006). Hyperaccumulation of trace elements by plants. In Morel J.L., Echevarria G., Goncharova N., eds. *Phytoremediation of metal-contaminated soil*. NATO science series:IV:earth and environment sciences. 68: New York, NY, USA:Springer,1-25.
- Reeves R.D., Baker A.J.M., (2000). Metal accumulating plants. In Raskin I. Ensley B.D. eds. *Phytoremediation of toxic metals:using plants to clean up the environment*. New York, NY, USA: John Wiley, 193-229.