



ISBN
978-86-86355-54-6

Plenary
Lectures

Quality
Engineering

Reliability
Engineering

Industrial
Engineering

Systems
Engineering

Military
Engineering

Energy
Efficiency

Lean
Production



Editor
Ljubisa Papic

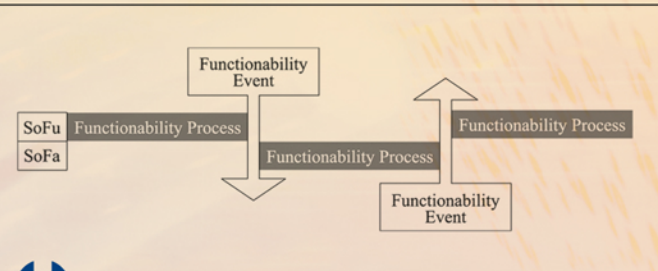
15th DQM INTERNATIONAL CONFERENCE

LIFE CYCLE ENGINEERING AND MANAGEMENT ICDQM-2024

Prijedor, SERBIA, 27-28 June 2024

Proceedings

Research



Education

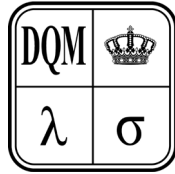


Application



National award for business excellence of Serbia - "Quality Oscar" in 2012. year, in category small and medium organizations, for range Leadership obtained DQM Research Center, Prijedor.

15th DQM INTERNATIONAL CONFERENCE



15th DQM International Conference

ICDQM-2024

LIFE CYCLE ENGINEERING AND MANAGEMENT

PROCEEDINGS

June 27-28, 2024, Prijedor, Serbia

Conference Topics:

Plenary Lectures
Quality Engineering
Reliability Engineering
Industrial Engineering
Systems Engineering
Military Engineering
Energy Efficiency
Lean Production

**Editor:
Ljubisa Papic**

**The Research Center of Dependability and Quality Management
DQM
Prijedor, 2024**

ICDQM-2024, Proceedings

ISBN-978-86-86355-54-6

LIFE CYCLE ENGINEERING AND MANAGEMENT, 2024

- Plenary Lectures
- Quality Engineering
- Reliability Engineering
- Industrial Engineering
- Systems Engineering
- Military Engineering
- Energy Efficiency
- Lean Production

Editor-in-Chief: Professor Ljubisa Papic.

Publisher: DQM Research Center - Prijevor, P. O. Box 132, 32102 Cacak.

Printer: Graphical Enterprise NBSgraf, Ive Lole Ribara 20, 32300 G. Milanovac.

Printing: 100 copies.

Prijevor, 2024.

CIP - Каталогизacija у публикацији Народна библиотека Србије, Београд

005.6(082)
005.6:658.58(082)
62(082)

**DQM International Conference Life Cycle Engineering and Management
(15 ; 2024 ; Prijevor)**

Proceedings / 15th DQM International Conference Life Cycle
Engineering and Management, ICDQM-2024, June 27-28, 2024, Prijevor,
Serbia ; [organizer] Research Center of Dependability and Quality
Management [i. e.] DQM ; editor Ljubisa Papic. - Cacak : DQM
Research Center, Prijevor, 2024 (G. Milanovac : Graphical Enterprise
NBSgraf). - XXVIII, 373 str. : ilustr. ; 25 cm

Radovi na engl. i rus. jeziku. - Tekst lat. i ćir. - Tiraž 100. -
Str. IV-V: Preface / Ljubisa Papic. - About the Proceedings editor:
str. 373. - Napomene i bibliografske reference uz tekst. -
Bibliografija uz svaki rad. - Sadržaj s nasl. str. Plenary Lectures
; Quality Engineering ; Reliability Engineering ; Industrial
Engineering ; Systems Engineering ; Military Engineering ; Energy
Efficiency ; Lean Production.

ISBN 978-86-86355-54-6

а) Инжењерство -- Зборници б) Управљање квалитетом -- Зборници в)
Технички системи -- Управљање квалитетом -- Зборници

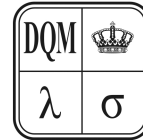
COBISS.SR-ID 146999305

15th

DQM International Conference
LIFE CYCLE ENGINEERING AND MANAGEMENT

ICDQM-2024

June 27-28, 2024, Prijedor, Serbia



БИОИНЖЕНЕРИЯ И РЕМЕДИАЦИЯ: ЗАГРЯЗНЕННАЯ ЗЕМЛЯ

Соня Кетин

Институт исследования и разработки Тамиш, Панчево, Сербия

Бобан Костич

Университет академия бизнеса, Факультет экономики и менеджмента,
Нови Сад, Сербия

Саня Евтич

Академия технических и художественных применённых студий, Белград,
Сербия

Милош Видакович

Университет в г. Приштина, Факультет педагогики, Приштина, Сербия

Раде Биочанин

Европейский центр защиты, Банья Лука, Республика Сербская,
Босния и Герцеговина

Шемсудин Плоёвич

Марко Андрейич

Университет Едуконс, Факультет для проектный и инновационный
менеджмент, Сремска Каменица, Сербия

***Аннотация:** Рекультивация окружающей среды – это мероприятие по устранению существующих загрязнений с целью снижения концентрации загрязняющих веществ до уровня, не представляющего опасности для окружающей среды. Загрязнение почвы происходит в результате чрезмерного выброса вредных веществ и их «смешивания» с веществами, естественным образом присутствующими в почве. Биоремедиация, по сути, представляет собой процесс, который отражает способность микроорганизмов расщеплять различные опасные вещества и играет все более важную роль в очистке загрязненной почвы и грунтовых вод. Эти процессы происходят благодаря способности микроорганизмов ферментативного метаболизма превращать органические загрязнители в загрязняющие и менее опасные соединения. Среди имеющихся вариантов очистки загрязненной почвы биоремедиация является наилучшей, поскольку она меньше всего наносит вред окружающей среде и с экономической точки зрения обходится дешевле. Утилизация отходов на недостаточно оборудованных полигонах представляет собой потенциальную угрозу*

загрязнения окружающей среды. Свалки отходов могут нанести ущерб качеству окружающей почвы, поверхностных и подземных вод.

Ключевые слова: Почва, загрязнение, опасные отходы, биоинженерия, ремедиация, микроорганизмы, экобезопасность, устойчивое развитие.

Уведомление: Исследование финансировалось Министерством науки, технологического развития и инноваций Республики Сербия, номер контракта 451-03-66/2024-03/200054.

1. ВВЕДЕНИЕ

Выживание человека напрямую обусловлено сохранением природных ресурсов планеты Земля, основой которых является общее биологическое разнообразие живого мира. Поэтому концепция защиты и сохранения почвы и биоразнообразия включена в современные стратегии развития, то есть планирование экономического и общего социального развития с рациональным использованием ресурсов и сохранением природы и окружающей среды. Такой подход к развитию был также закреплен Конвенцией о биоразнообразии, принятой в 1992 году в Рио-де-Жанейро (Бразилия).

Интенсивная урбанизация, промышленное развитие, дорожное движение, военные разрушения, несчастные случаи, терроризм и сельскохозяйственная деятельность приводят к чрезмерному загрязнению окружающей среды, включая почву. Загрузка поверхностных слоев почвы большим количеством отходов, которые не могут быть расщеплены процессами самоочищения, приводит к деградации почвы и нарушению в ней нормальных процессов с негативными последствиями для экосистемы и здоровья человека на длительный период времени.

В чрезвычайных ситуациях загрязнение почвы происходит в результате неконтролируемого выброса и смешивания твердых или жидких опасных веществ с соединениями, т.е. смеси, которые естественным образом присутствуют в почве. Места, загрязненные определенными загрязняющими веществами, требуют восстановления. По данным Агентства по охране окружающей среды США (Агентство по охране окружающей среды США), процедуре применения определенной технологии очистки предшествует идентификация присутствующих загрязнителей и оценка их воздействия на здоровье человека и окружающую среду. После выявления и оценки воздействия загрязняющих веществ следует процедура очистки или удаления загрязненной среды.

Тяжелые металлы являются одними из наиболее распространенных загрязнителей почвы, воды и окружающей среды в целом. Их токсичность становится все более серьезной проблемой в экологическом, питательном и эволюционном контексте. Накопление этих металлов в верхних слоях почвы представляет потенциальную опасность для здоровья человека, роста и развития растений, т. е. живого мира в целом.

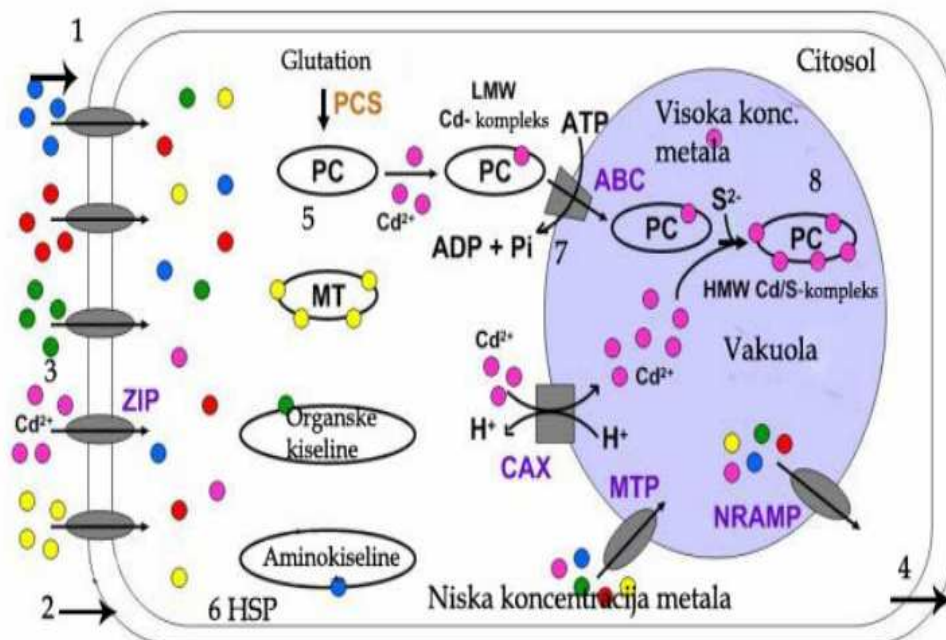
Источниками загрязнения/загрязнения почвы можно считать: загрязнение почвы сточными водами, загрязнение почвы атмосферой и загрязнение почвы твердыми отходами экономики, домашнего хозяйства, сельского хозяйства, военных полигонов и т. д.

Удаление тяжелых металлов из загрязненных почв является одной из важнейших задач охраны окружающей среды. Существует несколько стратегий ремедиации почв, таких как использование синтетических и природных хелаторов, использование микроорганизмов, прежде всего для деградации органических загрязнителей, а также использование растений – фиторемедиация.

Для проведения реабилитации загрязненных земель используется широкий спектр технологий с целью полного удаления присутствующих загрязнителей с территории и/или очистки их до уровня, при котором они больше не представляют угрозы для здоровья человека и окружающей среды. Например, По данным Доклада о состоянии почв Сербии, на территории республики выявлено 375 мест, где загрязнение почв подтверждено лабораторными анализами почвы и грунтовых вод в непосредственной близости от локализованных источников загрязнения и присутствует в течение длительный период времени. В выявленных населенных пунктах наибольший процент составляют свалки коммунальных отходов, которые имеют более или менее неорганизованный характер и в силу их специфики не проводились исследования по оценке влияния на загрязнение окружающей почвы и грунтовых вод.

Высокие концентрации эссенциальных и заменимых микроэлементов (кадмия, серебра, мышьяка, свинца, ртути) в цитозоле приводят к ряду нарушений обмена веществ, поскольку они взаимодействуют с большим количеством биомолекул. В связи с этим для растения большое значение имеет контроль концентрации микроэлементов в цитозоле. Растения обеспечивают это разными способами: регулируя поглощение ионов; детоксикация: комплексообразование - фитохелатины, карбоновые кислоты, глутатион и трансформации и внутриклеточная компартментация в вакуолях и цитозоле клеток, имеющих ограниченные метаболические функции.

Толерантность растений к высоким концентрациям тяжелых металлов часто объясняется выпадением в осадок цитрата, малата или оксалата металлов в зависимости от вида растения благодаря корневым экссудатам, состоящим преимущественно из этих и других органических кислот. Не следует игнорировать тот факт, что некоторые физико-химические параметры почвы, такие как значение рН, емкость катионного обмена, общий органический углерод, а также грануляция почвы могут влиять на доступность кадмия и свинца и их накопление в растении.



Легенда:

- 1) эктомикоризный барьер ограничивает движение металлов,
- 2) адсорбция тяжелых металлов на клеточной стенке или образование комплексов с корневыми экссудатами в апопласте,
- 3) избирательная проницаемость клеточной мембраны, т.е. роль активного транспорта,
- 4) активный транспорт из цитозоля в апопласт,
- 5) комплексообразование в цитозоле с различными лигандами,
- 6) регенерация и защита клеточной мембраны от повреждений, вызванных тяжелыми металлами (увеличение синтеза белков теплового шока (hsp-белки теплового шока)),
- 7) образование хелатных комплексов (органические кислоты, аминокислоты, глутатион, металлотионеины) и транспорт в вакуоли,
- 8) накопление тяжелых металлов в вакуоли (компартиментации).

Рисунок 1. Механизмы толерантности и детоксикации тяжелых металлов у растений

2. ВОССТАНОВИТЕЛЬНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ

Почвы отличаются друг от друга по способности удерживать тяжелые металлы. С точки зрения водных экосистем большое количество тяжелых металлов накапливается и обнаруживается, особенно в устьях рек и на побережьях морей и океанов. Происхождение тяжелых металлов в природных почвах происходит исключительно из литосферы. Источниками минеральной части почвы являются горные породы и минералы, входящие в

состав земной коры. Восемь элементов (O, Si, Al, Fe, Ca, Na, K, Mg) составляют 98,59% земной коры, а все остальные 1,41%. Следовательно, содержание элементов в почве зависит от содержания в породах, из которых произошел материнский субстрат. Концентрация тяжелых металлов, таких как Co, Cr, Mn, Ni и V, зависит от природного состава почвы.

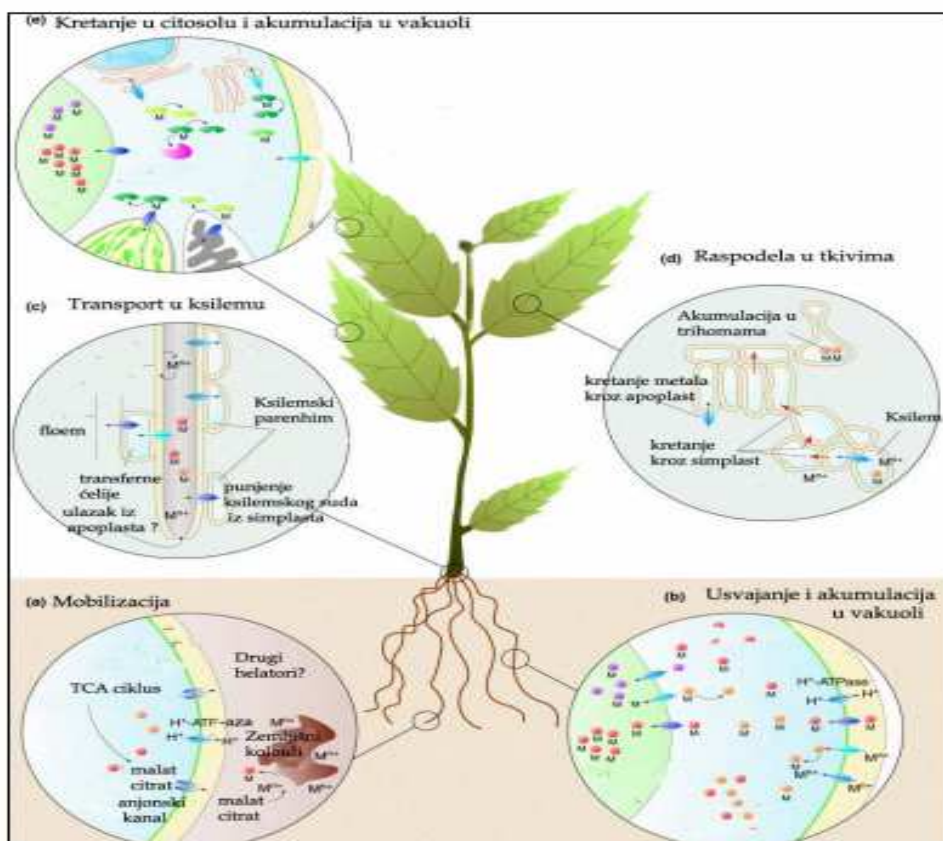


Рисунок 2. Молекулярные механизмы, участвующие в процессе усвоения, транслокации и накопления металлов в растениях

Содержание полициклических ароматических углеводородов (ПАУ) в почве выше ПДК (МДК-МДД) в более высоких микролокациях, содержание ртути выше ПДК (ПГВ) в несколько меньшем числе микролокаций. Повышенные значения ртути, очень опасного для здоровья человека тяжелого металла, колеблются от 0,644 mg/kg до 2,221 mg/kg. Во всех пробах выявлено повышенное содержание в почве суммарных форм тяжелых металлов, а именно никеля и хрома.

Эти результаты свидетельствуют о том, что тяжелые металлы и ПАУ откладываются в почве приливными волнами рек и ручьев. Что касается никеля и хрома, то мы приходим к выводу, что их присутствие в водном

потоке происходит из коры геологического субстрата в верхнем течении реки, тогда как остальные тяжелые металлы и ПАУ могут быть связаны с промышленностью бассейна.

Свинец и кадмий — заменимые элементы, которые в очень низких концентрациях могут оказывать токсическое воздействие как на растения, так и на живой мир в целом. Взаимодействие токсичных тяжелых металлов и растений важно для экологической стабильности экосистем. Адаптационные стратегии растений к повышенным концентрациям тяжелых металлов различны. Растения разработали сложные механизмы, которые контролируют поглощение и накопление тяжелых металлов, а также их детоксикацию.

Рекультивация почвы — это мера по устранению существующего загрязнения/загрязнения почвы с целью снижения концентрации загрязняющих веществ до уровня, не представляющего опасности для окружающей среды, здоровья человека и качества жизни.

Биоремедиация — комплекс мероприятий по рекультивации почв, преимущественно с применением биологических агентов. В более узком смысле под биоремедиацией понимают восстановление с помощью микроорганизмов, а в более широком — с помощью растений (фиторемедиация). Он может включать микробиологическую деградацию и детоксикацию почвы, поверхностных и подземных вод и воздуха, твердых, жидких и газообразных отходов от вредных веществ, а также загрязняющих веществ, таких как органические загрязнители (нефть, нефтепродукты, пестициды, моющие средства, полимеры, фенолы, органические растворители), искусственные удобрения, тяжелые металлы (ртуть, кадмий, свинец) и другие токсичные элементы и соединения (мышьяк, цианиды), ядовитые газы и радионуклиды (уран, плутоний и др.)

Целью процесса рекультивации является предотвращение распространения загрязнения вследствие проникновения в грунтовые воды, попадания опасных веществ в пищевую цепь и тому подобное. Какой вариант очистки будет применен, зависит от типа загрязнения, характера местности и т. д. Реабилитационные мероприятия проводятся в следующие этапы:

- исследования, направленные на выявление вида и степени загрязнения,
- создание модели рассеивания загрязняющих веществ в природной среде,
- лабораторные пилотные испытания ремедиации,
- полевые пилотные испытания рекультивации,
- проведение рекультивации с контрольными отборами проб и измерениями.

Прежде чем выбрать технологию рекультивации, необходимо составить план мероприятий, который содержит:

- оценка загрязнения объекта (характеристика объекта) и определение технологий рекультивации;

- детальное технико-экономическое обоснование и определение альтернатив деятельности;
- применение выбранных технологий с контролем достигнутых результатов (мониторинг).



Симптомы отравления свинцом (вверху) и кадмием (в центре) на листьях

Хлороз и некроз (слева) на молодых листьях – растения Acer negundo при обработке Cd



Рисунок 3. Надежные биоиндикаторы загрязнения растений в природе

3. МЕТОДЫ ИСПРАВЛЕНИЯ

Крайне желательно использовать соответствующий процесс восстановления загрязненной почвы. Раскопки и захоронение почвы больше не считаются постоянным решением. Спрос на методы обработки почвы постоянно растет, и разработка новых, недорогих, эффективных и экологически безопасных методов восстановления стала одним из ключевых направлений исследовательской деятельности в области науки и техники об окружающей среде. При выборе наиболее подходящего метода рекультивации почвы очень важно учитывать характеристики почвы и загрязнителей. На сегодняшний день предложены различные подходы к реабилитации почв, загрязненных металлами.

Токсичные металлы и другие загрязнители можно изолировать, чтобы предотвратить их дальнейшую миграцию, путем выщелачивания через почву или путем ее эрозии. Более мелкие, но, как правило, более загрязненные частицы почвы можно отделить от остальной почвы с помощью различных разработанных методов разделения.

Один из методов включает использование гидроциклонов, которые отделяют более крупные частицы от более мелких с помощью центробежной силы, а также используются такие методы разделения жидкости и твердых веществ, как гравиметрическое осаждение и флотация. К методам иммобилизации примесей относятся стабилизация и затвердевание, остекловывание и др., а к методам разделения относятся электрокинетическая экстракция, фитоэкстракция, промывка почвы и др.

Некоторые из этих приемов, такие как промывка почвы с использованием частиц для разделения и химическая экстракция с помощью водного раствора ПАВ и с помощью минеральных кислот, имеют наибольшее применение, тогда как технология промывки почвы хелатами находится в стадии разработки. Этап разработки. Фитоэкстракция, усиленная хелатами, и улучшенная электрокинетическая экстракция также находятся на стадии разработки.

Двумя основными методами исправления являются:

- 1) метод *in-situ* проводится на месте загрязнения;
- 2) Метод *ex situ* предполагает выемку грунта и транспортировку в заранее подготовленное место.

В зависимости от места реализации технологии биоремедиации делятся на два подтипа: технологии биоремедиации *in situ* и *ex situ*. Технологии биоремедиации *in situ* осуществляются непосредственно на месте загрязнения, а при использовании технологий биоремедиации *ex situ* загрязненная почва удаляется с места загрязнения и транспортируется к месту очистки. Технологии биоремедиации *in situ* значительно дешевле технологий биоремедиации *ex situ*, поскольку позволяют обрабатывать загрязненную почву непосредственно на месте загрязнения, избегая раскопок и транспортных затрат. Технологии биоремедиации *in situ* очень эффективны, когда подземный грунт очень проницаем, когда он включает почву, расположенную на максимальной глубине 8-10 м, и когда грунтовые воды присутствуют на глубине ниже 10 м.

Поверхностная обработка почвы представляет собой очень простую технологию биоремедиации, которую можно применять как *in situ*, так и *ex situ*. Данная технология применяется для рекультивации поверхностного слоя почвы и может применяться на месте, если загрязнение неглубокое и под ним находится непроницаемый грунт. После внесения питательных веществ поверхностный слой почвы периодически переворачивают для аэрации и периодически увлажняют для сохранения влажности.

В технологиях биоремедиации *ex situ* загрязненная почва выкапывается и транспортируется к месту очистки, которое облицовывается и разделяется таким образом, чтобы предотвратить миграцию загрязняющих веществ и исключить возможность попадания загрязняющих веществ в грунтовые воды. Независимо от затрат на выемку и транспортировку загрязненного грунта, необходимо предусмотреть большую площадь, на которой будет обрабатываться загрязненный грунт, что еще больше увеличивает затраты.

Технологии биоремедиации *ex situ* позволяют гораздо лучше контролировать температуру, концентрацию питательных веществ, содержание влаги и доступность кислорода по сравнению с технологиями биоремедиации *in situ*. Некоторые из наиболее важных технологий биовосстановления *ex situ* включают земледелие, компостирование, регулируемые биологические отвалы и биореакторы. Поверхностную обработку почвы можно также проводить методом *ex situ*.

Загрязненный грунт выкапывают, транспортируют и распределяют так, чтобы толщина слоя составляла максимум 0,5 м, поскольку данная технология ограничивается обработкой поверхности 10-35 см почвы. Внесенную загрязненную почву периодически переворачивают с помощью сельскохозяйственной техники, что обеспечивает лучшую аэрацию. Во время этого процесса контролируются питательные вещества и влажность для улучшения биоремедиации. Фильтраты собираются системой труб. Учитывая большую экономию, обусловленную снижением затрат на мониторинг и техническое обслуживание, эта простая технология биоремедиации *ex situ* приобрела большое значение.

4. ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ

Технологии рекультивации включают в себя: биологическую, химическую, физическую и термическую реабилитацию. Критериями выбора технологии являются вид, вид и количество загрязняющего вещества.

Биоремедиация – комплекс процедур по реабилитации с применением биологических агентов. В более узком смысле под биоремедиацией понимают восстановление с помощью микроорганизмов, а в более широком – с помощью растений (фиторемедиация). Он может включать микробиологическую деградацию и детоксикацию почвы, поверхностных и подземных вод и воздуха, твердых, жидких и газообразных отходов от вредных веществ, а также загрязняющих веществ, таких как органические загрязнители (нефть, нефтепродукты, пестициды, моющие средства, полимеры, фенолы, органические растворители), искусственные удобрения, тяжелые металлы (ртуть, кадмий, свинец) и другие токсичные элементы и соединения (мышьяк, цианиды), ядовитые газы и радионуклиды (уран, плутоний и др.).

Биологическая деградация осуществляется в клетках микроорганизмов, которые поглощают некоторые загрязняющие вещества, поэтому при наличии у них соответствующих ферментов загрязняющее вещество расщепляется на метаболиты. Углеводороды нефти служат источником питательных веществ и энергии для роста и развития микроорганизмов, которые расщепляют их до нафтеновых кислот, спиртов, фенолов, гидроперекисей, карбонильных соединений (альдегидов и кетонов), сложных эфиров и, наконец, до углерода(IV)- оксид и вода.

Таблица 1. Тяжелые металлы, источники и последствия загрязнения

Тяжелые металлы	Источники	Последствия
Свинцовый металл	Соединения свинца используются в качестве присадок к краскам и топливу.	Снижение когнитивных способностей детей происходит при очень низких концентрациях свинца в крови.
Ртуть	Используется с умеренными инструментами и добавками.	Он может проникать в пищевую цепь, влияя на заболевания почек и деятельность мозга.
Кадмий	Применяется в гальванике и в качестве стабилизатора пластмасс, кадмиевых аккумуляторов.	Он накапливается в поверхностных слоях почвы, обладает канцерогенными свойствами, вызывает поражение почек, имеет последствия для флоры и беспозвоночных водных экосистем и почвы.
Мышьяк	Он содержится в пестицидах, осушителях и консервантах для древесины, выбрасываемых металлургическими заводами и сжиганием угля.	Неорганический мышьяк является доказанным канцерогеном для человека, накапливается в водных организмах, присутствует в питьевой воде вследствие загрязнения подземных вод.
Никель	Он используется для сплавов, искусственных волокон, стеклокерамики, электроники и в современной ювелирной промышленности, выделяется при сжигании топлива для отопления и из выхлопных газов.	Аллергические кожные реакции и рак кожи.
Пестициды (инсектициды и фунгициды содержат мышьяк, цинк, ртуть и др.)	Различные химические соединения, используемые в настоящее время в качестве инсектицидов, фунгицидов и гербицидов.	Опасность для работников и пользователей, контактирующих с пестицидами. Они оказывают прямое и косвенное воздействие на флору, фауну, грунтовые воды и загрязнение озер. Высокотоксичные соединения, могут вызывать рак и аллергические реакции.

В последнее время генная инженерия открывает большие возможности для создания генетически модифицированных микроорганизмов, обладающих биодegradационными свойствами – так называемых катаболических генов. «супермикробы», которые представляют потенциальную опасность для окружающей среды в связи с еще недостаточным опытом возможного взаимодействия этих микроорганизмов с окружающей средой и возникновения форм, опасных для здоровья человека и окружающей его среды.

С другой стороны, биоремедиация — это форма «зеленых технологий», направленная на разработку технологий «нулевых отходов», то есть технологий, которые уменьшают образование отходов как конечного продукта процесса. Эти технологии можно отнести к категории НДТ (наилучших доступных технологий/методов), которые относятся к комплексному предотвращению и контролю загрязнения. Биологическая ремедиация почв включает в себя все процедуры, при которых реабилитация осуществляется с помощью микроорганизмов, удаляющих загрязняющие вещества. Эти процессы представлены биоремедиацией, биовентиляцией и фиторемедиацией.

Биоремедиация – комплекс процедур по очистке с использованием микроорганизмов (бактерий, грибов, дрожжей), при которых в их клетках происходит биологическая деградация путем резорбции некоторых загрязнителей, где они расщепляются на метаболиты с помощью соответствующих ферментов. Биоремедиация может применяться для разложения разлитой сырой нефти и сточных вод, угольных продуктов (фенолов, цианидов), сельскохозяйственных химикатов (пестицидов), разложения угольных продуктов (фенолов, цианидов), мазута и т. д.

Биовентиляция – это форма биоремедиации, при которой используется воздух, кислород и/или метан. При этой процедуре воздух нагнетается в зону загрязненной почвы с такой скоростью, что его поток увеличивает испарение органических загрязнителей и в то же время создает оптимальные условия для аэробного микробного разложения летучих органических соединений. Метод биовентиляции применяется для очистки почв, загрязненных нефтепродуктами (бензином, керосином, дизельным и мазутом).

Фиторемедиация – это так называемая зеленая технология рекультивации загрязненных почв с использованием растений, обладающих способностью удалять и расщеплять сравнительно большое количество загрязняющих веществ, особенно металлов. А именно, растения обладают способностью накапливать из почвы те металлы, которые необходимы для их роста и развития (железо, марганец, цинк, медь, никель), а некоторые могут накапливать и тяжелые металлы (кадмий, хром, свинец, кобальт, серебро), селен, ртуть). Из-за их токсичности чрезмерное накопление в растениях может оказать негативное воздействие на окружающую среду.

5. УСЛОВИЯ, ПРИ КОТОРЫХ ПРОИСХОДИТ БИОРЕМЕДИАЦИЯ

В лечебно-экологической программе (в системе экобезопасности) необходимо определить способ рекультивации существующих загрязнений/загрязнений почв, а также, помимо мер профилактики и защиты, определить меры по предотвращению дальнейшего загрязнения этих поверхностей и установить постоянный мониторинг в зоне риска. Для предотвращения выбросов вредных и опасных веществ необходимо привлечь соответствующие министерства. русло реки в нижнем течении, чтобы уменьшить и предотвратить подобные экологические катастрофы в будущем.

В мероприятиях по рекультивации земель необходимо запретить или ограничить производство отдельных видов сельскохозяйственной продукции на загрязненных землях и сброс отходов, а также взыскать расходы на рекультивацию загрязненных земель и расходы, понесенные сельскохозяйственными товаропроизводителями.

В зависимости от количества кислорода, присутствующего в почве, биоремедиация может проходить в аэробных и анаэробных условиях.

Аэробное разложение осуществляется аэробными микроорганизмами и, кроме кислорода, на него существенно влияют наличие минеральных солей, температура и pH. Аэробным микроорганизмам необходимы соли азота, фосфора, калия, магния, железа, цинка и др. Наибольший рост углеводородоксидазных бактерий и грибов наблюдается в интервале температур 25-40 °С. Однако микроорганизмы проявляют большую приспособляемость к условиям роста, в том числе к температуре. Оптимальный уровень pH для биоразложения составляет от 7 до 8,5. Изменение кислотности среды может повлиять на смену доминирующих видов микроорганизмов и, следовательно, на условия микробиологического разложения. Дегградация бензола бактериями начинается с образования цис-дигидродиола, за которым следует дегидрирование докатехина и затем раскрытие кольца.

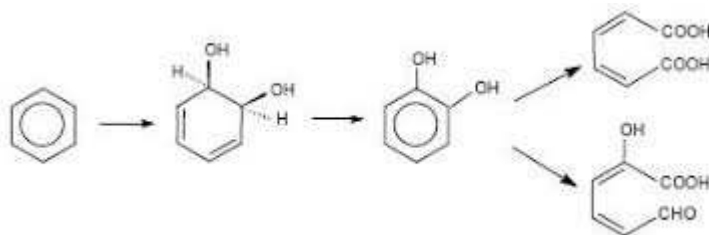


Рисунок 4. Биодегградация бензола бактериями.

ПАУ сначала подвергаются диоксигенированию (антрацен превращается в цис-1,2-дигидродиол, фенантрен — в цис-1,2- и цис-3,4-дигидродиол, бенз(а)антрацен — в цис-1,2-, цис8, 9- и цис-10,11-дигидродиол и т. д. Затем нагржденные дигидродиолы путем дегидрирования дают

катехолы, затем происходит раскрытие кольца и окислительная деградация продуктов распада. Полициклические ароматические углеводороды проявляют мутагенный и канцерогенный биологический потенциал за счет метаболической активации.

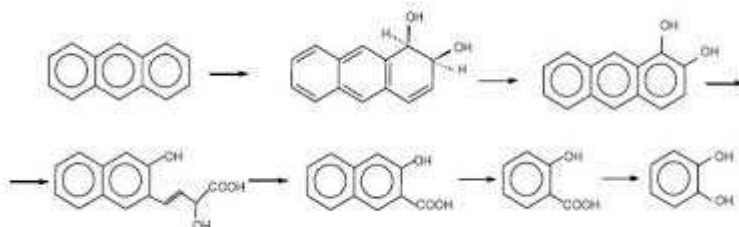


Рисунок 5. Биодegradация антрацена бактериями.

Анаэробный процесс протекает под влиянием анаэробных микроорганизмов и протекает настолько медленно, что его значение незначительно. Однако было обнаружено, что анаэробное разложение может начаться после того, как масло ранее подвергалось воздействию аэробных микроорганизмов. Инициаторами анаэробной деградации чаще всего являются сульфовосстанавливающие бактерии.

6. МИКРОБИОЛОГИЧЕСКОЕ СООБЩЕСТВО

Для того чтобы удаление загрязнений было эффективным, необходимо обеспечить подходящие нефтеокисляющие микроорганизмы в достаточно большом количестве, а также оптимальные условия для их роста и развития, такие как достаточное количество азота и фосфора. Чаще всего используют аборигенную микрофлору, которую выделяют из почвы и размножают в биореакторах. Помимо дрожжей из родов *Candida* (*C. lipolytica*, *C. tropicalis*), *Hansenula*, *Torulopsis*, *Rhodotorula* и грибов из родов *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Trichoderma* и других, основную роль в биодegradации углеводов нефти играют бактерии, среди которых доминируют виды из рода *Pseudomonas*, *Vibrio*, *Arthrobacter*, *Aeromonas*, *Acinetobacter* и другие.

Отсутствие катаболического пути биодegradации некоторых ксенобиотиков в настоящее время преодолевается с помощью биоинженерных методов, поскольку биохимические пути могут развиваться. В этом смысле обмен генетической информацией между разными видами и штаммами посредством плазмид может существенно ускорить эти процессы. Так, например, применение генетических методов привело к созданию штаммов *Pseudomonas*, способных расщеплять широкий спектр хлорбензоатов и хлорфенолов. Если проводится генная инженерия микроорганизмов, то этот процесс называется биоаугментацией. Биоремедиация зависит не только от типа и концентрации загрязнения и присутствующего микробиологического сообщества, но и от гидрогеохимических характеристик почвы.

Таблица 2. Примеры химических веществ и микроорганизмов, их синтезирующих

Химикаты	Микроорганизмы
Хлорированные алкены	Xanthobacter sp.
Флуорантен (ФА)	Cunninghamella elegans
П-крезол	Trametes versicolor
Фенольные соединения	Rhizoctonia praticola
ароматические углеводороды	Pseudomonas aeruginosa UG2
Паратион	Pseudomonas stutzeri
ДДТ	Phanerochetae

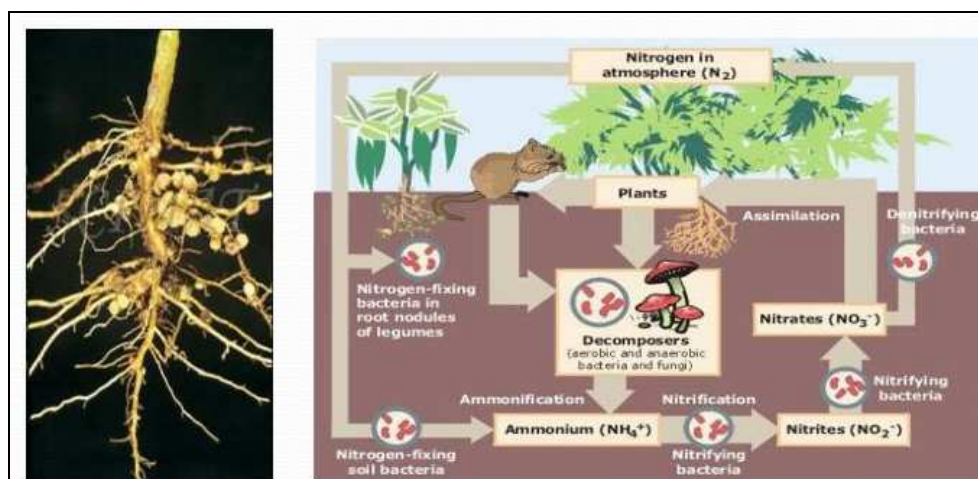


Рисунок 6. Микробиологическая азотфиксация – схематическое изображение действия.

Интенсивное использование нитратов в сельскохозяйственном производстве значительно увеличивает количество нитратов в природе. Сами по себе нитраты относительно безвредны, но продукты их микробиологического восстановления вызывают многочисленные локальные и глобальные проблемы, связанные с загрязнением окружающей среды. Особого внимания требует снижение содержания нитратов в продуктах питания и кормах для животных. Помимо прямой токсичности, нитрит при каталитическом действии ферментов микроорганизмов может вступать в реакцию со вторичными аминами, содержащимися в пищевых продуктах, образуя N-нитрозоамины — мощные канцерогены.

Микробиологическое восстановление нитратов в анаэробных почвах и осадках приводит либо к образованию NH₄, либо, при низких значениях pH, к разделению N₂O и молекулярного азота. Воздушные потоки могут поднимать N₂O в стратосферу, где он способствует истощению озонового слоя.

7. БИОРЕМЕДИАЦИЯ НЕФТЕЗАГРЯЗНЕННЫХ ЭКОСИСТЕМ

Нефть представляет собой смесь большого количества углеводородов (90-95%). Остальное состоит из 5-10% соединений азота, серы и кислорода (НСО-соединения) и микроэлементов. Благодаря инструментальным методам органического анализа к настоящему времени в нефти идентифицировано более 10 000 различных соединений. Средний элементный состав нефти: 80,4 - 80,7 % С, 9,6 - 13,8 % Н, 0 - 3,0 % О, 0 - 5,0 % S, 0 - 2,0 % N. Сера является третьим по распространенности элементом в сырой нефти. Его общее содержание обычно не превышает 1%, хотя бывают исключения. Вообще, чем выше удельный вес нефти, тем выше в ней содержание серы. Кислород в маслах обычно составляет менее 2% и преимущественно присутствует в составе более тяжелых фракций. Азот всегда присутствует во всех сырых маслах, но его содержание обычно ниже 0,1%.

Случаи крупных экологических катастроф (Бхопал, Чернобыль, Мексиканский залив, Фукусима), прогрессирующего ухудшения качества водных экосистем и уничтожения хвойных лесов в Европе и США) и других аварийных ситуаций, вызванных, прежде всего, эксплуатацией промышленных предприятий, привели к ряду экологических проблем, для решения которых были привлечены специалисты из разных областей. Их попытки, направленные, прежде всего, на снижение содержания токсичных отходов, являются вкладом в развитие технологий биоремедиации, как одной из возможностей детоксикации промышленных стоков.

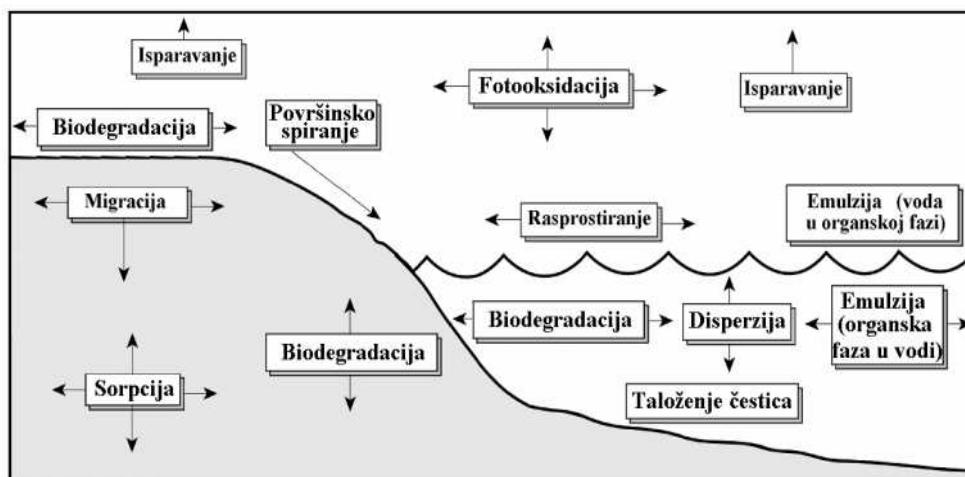


Рисунок 7. Преобразования загрязнителей нефтяного типа в окружающей среде

Микроорганизмы, способные разлагать углеводороды нефтяного происхождения, широко распространены в природных экосистемах. Разложение нефти и ее остатков чаще всего осуществляют бактерии родов

Arhrobacter, *Pseudomonas*, *Xanthomonas* и других. Все эти микроорганизмы реагируют на присутствие углеводов как изменением своей численности, так и функционально. Скорость, с которой сообщества микроорганизмов могут разлагать нефтяные остатки, в основном зависит от степени доступности кислорода и количества питательных веществ, в первую очередь азота и фосфора.

Биоремедиацию применяют в местах, загрязненных углеводородами из подземных поврежденных резервуаров. В некоторых случаях обработка проводится на месте, а в других – в надземных биореакторах. Лечение варьируется от добавления культур до добавления питательных веществ и оксигенации.

Биоремедиация — это экономически выгодная, «зеленая» технология, с помощью которой загрязняющие вещества биологически преобразуются в нетоксичные соединения или полностью разлагаются на углекислый газ и воду. В современных условиях во многих экосистемах, деградировавших под воздействием человека, многочисленные микроорганизмы, и прежде всего бактерии, приобретают свою новую экологическую роль. В качестве биологических агентов чаще всего используют микроорганизмы.

С целью увеличения скорости биологического разложения биоремедиация оптимизирует условия роста присутствующих в экосистеме микроорганизмов путем аэрации, внесения питательных веществ, чаще всего солей азота и фосфора, а при необходимости - внесения специально подготовленных культур микроорганизмов.

Существует ряд различных факторов, которые препятствуют успешному налаживанию процесса биоремедиации на загрязненном участке. Загрязнение может быть «невидимым» для микроорганизмов, если концентрация загрязнения слишком мала, если загрязнение находится в неводной фазе (в растворе, который плохо смешивается с водой и поэтому перемещается отдельно от грунтовых вод через землю). , если он адсорбирован на поверхности почвы или в порах настолько мелких, что вода с трудом вымывает их циркуляцией. В таких случаях следует добавлять химические агенты, которые мобилизуют загрязнение.

Загрязнение может быть токсичным для микроорганизмов. Некоторые токсичные соединения могут разлагаться в низких концентрациях, но в высоких концентрациях в водной фазе они могут уничтожать микроорганизмы. Побочные продукты, которые более токсичны, чем загрязнение, могут образовываться в результате частичного разложения загрязнения.

С целью увеличения скорости биологического разложения биоремедиация оптимизирует условия роста присутствующих в экосистеме микроорганизмов путем аэрации, внесения питательных веществ, чаще всего солей азота и фосфора, а при необходимости - специально подготовленных культур микроорганизмов.

Существует ряд различных факторов, которые препятствуют успешному налаживанию процесса биоремедиации на загрязненном участке. Загрязнение может быть «невидимым» для микроорганизмов, если концентрация загрязнения слишком мала, если загрязнение находится в неводной фазе (в растворе, который плохо смешивается с водой и поэтому перемещается отдельно от грунтовых вод через землю), если он адсорбирован на поверхности почвы или в порах настолько мелких, что вода с трудом вымывает их циркуляцией. В таких случаях следует добавлять химические агенты, которые мобилизуют загрязнение.

Загрязнение может быть токсичным для микроорганизмов. Некоторые токсичные соединения могут разлагаться в низких концентрациях, но в высоких концентрациях в водной фазе они могут уничтожать микроорганизмы. Побочные продукты, более токсичные, чем загрязнение, могут образовываться в результате частичного разложения загрязнения.

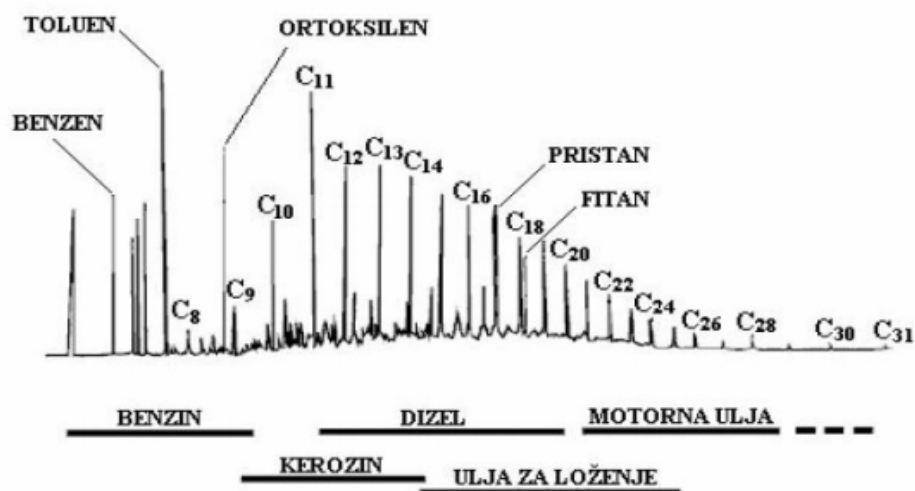


Рисунок 8. Хроматограмма, показывающая диапазоны углеводородов в нефтепродуктах

8. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проблема загрязнения почв опасными веществами с каждым днем становится все более актуальной как в мире, так и в нашей стране. Нежелательные происшествия, наносящие огромный ущерб окружающей среде, происходят при добыче, транспортировке, переработке и хранении опасных материалов, при интенсивном сельскохозяйственном производстве, промышленных авариях, а также вследствие умышленных действий человека в условиях военного времени. Чтобы предотвратить нежелательные последствия такого загрязнения, необходимо заранее подготовить

оперативные планы, в которых будут указаны процедуры реагирования на нежелательное происшествие. При этом необходимо выбирать технологии, которые не будут еще больше угрожать окружающей среде, а продукты рекультивации будут безвредны для человека и окружающей его среды.

Рекультивация окружающей среды – это мероприятие по устранению существующих загрязнений с целью снижения концентрации загрязняющих веществ до уровня, не представляющего опасности для окружающей среды. Интенсивная урбанизация, промышленное развитие, дорожное движение и сельскохозяйственная деятельность приводят к чрезмерному загрязнению окружающей среды, в том числе почвы.

Загрузка поверхностных слоев почвы большим количеством отходов, которые не могут быть расщеплены процессами самоочищения, приводит к деградации почвы и нарушению нормальных процессов в ней с негативными последствиями для экосистемы.

В процессе биоремедиации могут участвовать автохтонные микроорганизмы, выделенные из соответствующих загрязненных территорий. Стимулирование роста автохтонных микроорганизмов достигается обеспечением соответствующей температуры, кислорода и питательных веществ. Если биологическая активность, необходимая для разложения тех или иных загрязнителей и примесей, не установлена, к загрязненным участкам добавляют культуры экзогенных микроорганизмов (ранее успешно испытанных на наличие различных примесей), выделенных из других мест.

Целью процесса реабилитации является предотвращение распространения загрязнения из-за проникновения грунтовых вод и попадания опасных веществ в пищевую цепь. Какой вариант очистки/обеззараживания почвы будет применен, зависит, в первую очередь, от типа загрязнения/загрязнения и характера местности.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Canak S., Berezeljev Lj., Borojevic K., Asotic J., Ketin S.: Bioremediation and "green chemistry". Fresenius environmental bulletin, vol. 28, No. 4A, 2019, pp. 3056-3064.
- [2] Djelic A. T., Neskovic S., Ketin S., Lutovac M., Popovic Z., Mirkovic M., Secerov P.: Economic and environmental context of organic agriculture and farms in Serbia: case study, Fresenius environmental bulletin, vol. 28, No. 1, 2019, pp. 87-92.
- [3] Ketin S., Sacirovic S., Plojovic S., Redzep S., Biocanin R.: Method for comparison of the maximum range of chemical pollutants. Russian journal of general chemistry, vol. 84, No. 13, 2014, pp.2677-2680.

- [4] Кетин С., Андрејић М., Јовановић Д., Ратковић Н., Мирчевски М.: Management bioremediation and biochemical metabolisam in “Green Chemistry“, ICDQM-2023, 2023, с. 122-136.
- [5] Ketin S., Imamovic M., Nikolic D., Biocanin R.: Technology for the remediation of soil, Bulgarian journal of agricultural science, Vol. 21, No 5, 2015, s. 935-939,
- [6] Tutic A., Novakovic S., Lutovac M., Biocanin, R., Ketin, S., Omerovic, N.:The Heavy metals in agrosystems and impact on health and quality of life. Open access Macedonian journal of medical sciences, Vol. 3, No. 2, 2015, s. 345-355.
- [7] Стефанов С, Биочанин Р, Нешковић С.: Agriculture-soil remediation technology, SINOVIS2013, III Сиозијум иновационих истраживања, Земун, Србија 2013, књига радова, 2013, с. 123-132.
- [8] Биочанин Р., Стефанов С., Бабић М.: Биоиндикатори животне средине у континуираном праћењу стања здравља и квалитета живота, Поуке прошлости и будућности опстанка српског народа, 2012, с. 47-72.
- [9] Стефанов С., Биочанин Р., Рајковић М.: Улога и значај еко-мониторинг у продуктивности житарица, XII, Златно зрно Шумадије, CESNA В, Рача, Србија, Зборник радова, 2012, , с. 427-437.
- [10] Стефанов С., Војиновић Милорадов М., Банчов Ш., Хаџи Перић С.: Технологије за ремедијацију земљишта, ELECTRA VI, Златибор, Србија, 2010, с. 222-227.