# Кейс "Электробиоремедиация донных отложений и загрязненных вод с помощью микробных топливных элементов"

Оглавление

[Кейс "Электробиоремедиация донных отложений с помощью микробных топливных элементов бентосного типа" 2](#_Toc474109777)

[1. ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ 2](#_Toc474109778)

[2. ПРИВЯЗКА К ПРЕДМЕТНЫМ ОБЛАСТЯМ ЗНАНИЯ 2](#_Toc474109779)

[3. ЦЕЛИ ПРОЕКТА 2](#_Toc474109780)

[4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА 3](#_Toc474109781)

[5. ЭТАПЫ РЕАЛИЗАЦИИ 3](#_Toc474109782)

[ДОРОЖНАЯ КАРТА МОДУЛЯ 3](#_Toc474109783)

[6. ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ 3](#_Toc474109784)

[Основное оборудование и материалы 3](#_Toc474109785)

[Вспомогательное оборудование и материалы 3](#_Toc474109786)

[ДОПОЛНЕНИЯ 5](#_Toc474109787)

[Список использованных источников 6](#_Toc474109788)

[Книги и статьи 6](#_Toc474109789)

[Источники информации в интернете для текста и работы над проектом: 6](#_Toc474109790)

## 1. ПРОБЛЕМНАЯ СИТУАЦИЯ

Одним из серьезных вызовов, стоящих сейчас перед человечеством, является проблема очистки окружающей среды. Резкий промышленный рост в 19-20 веке при отсутствии понимания основных законов круговорота веществ, экологических взаимосвязей, привёл к накоплению в природных и техногенных экосистемах большого количества токсичных веществ. Они имеются в пресных и морских водоёмах и донных отложениях, в почве, в организмах растений, животных и др. Все современные технологии, производства проектируются с учётом воздействия на окружающую среду, чтобы минимизировать новые выбросы, однако острой остаётся проблема уже накопленных в среде токсикантов. Даже если их концентрации не всегда велики для острого токсического эффекта, но за счёт постоянного многолетнего воздействия на живые системы, они могут давать хронический подавляющий эффект.

Наиболее простым способом решения проблемы было бы извлечение загрязненных сред на специальные полигоны и их очистка там – *ремедиация*. Так и делается в случае небольших объёмов, например почв, залитых нефтью при аварийных разливах в трубопроводах – способ ex situ. Но если объёмы велики, извлечение невозможно (донные осадки или приведёт с смене рельефа местности) – необходимы методы ремедиации на месте, т.е*. in situ*.

C точки зрения научных подходов к ремедиации, то можно выделить *физико-химические* (сжигание, выпаривание, обработка реактивами) и *биологические* способы. Первые являются более интенсивными и дают быстрый эффект. Но они, как правило, требуют специальных установок, энерго- и ресурсозатратны, а также не решают проблему утилизации собранного токсиканта или продуктов его химической переработки. Методы *биоремедиации* как правило имеют низкую скорость и зависят от местных климатических условий. Но они бюджетны, технически более просты, не оказывают дополнительного прессинга на экосисистемы и могут приводить к полному биологическому разложению токсических соединений. Кроме того, они являются наиболее *природоподобными технологиями*, могут быть вполне интегрированы в естественные биогеохимические циклы или техногенные или урбоэкосистемы.

Чаще всего, технологии биоремедиации основываются деятельности микроорганизмов (*микробиологическая ремедиация*) или растений (*фиторемедиация*). Бактерии за счет своих мощных ферментов способны разлагать широкий спектр органических *поллютантов* – нефтепродукты, пестициды, синтетические ПАВ и мн. др. Растения способны выборочно извлекать из воды, почвы тяжелые металлы, летучие углеводороды и др. Растительно-микробные взаимодействия способны приводить к синергичному эффекту взаимной стимуляции и очистки окружающей среды.

В настоящее время для описанных выше задач перспективными считаются *биоинженерные* системы в том числе *микробные топливные элементы (*МТЭ*)*. Они относятся к *биоэлектрохимическим системам* (БЭС) и способны за счёт деятельности микробов создавать небольшой электрический ток при одновременном разложении органических загрязнителей. Таким образом МТЭ могут быть и *биотехнологическими устройствами* для *возобновляемой энергетики*, и для биоремедиации.

В ХХ веке был накоплен значительный опыт применения электричества для обессоливания почв, удаления тяжелых металлов (*электромелиорация* и др.) их них и сточных вод. Однако, как правило при этом подаётся внешнее напряжение для инициации процессов электролиза, электроосмоса и др. *Использование технологии МТЭ может позволить задействовать одновременно и методы электростимуляции, и микробного разложения токсикантов*. Они могут послужить основой для новых образцов биоинженерных систем - например на основе wetland-систем, гидропонных конструкций.

**Педагогическая ситуация**

Нормальная жизнедеятельность отдельного человека и общества в целом невозможна без отрыва от природной и рукотворной среды обитания. Однако развитие цивилизации привело к её загрязнению, накоплению в ней критических количеств токсических веществ - продуктов техногенной активности людей. Каким образом можно удалить их, переработать, используя естественные биогеохимические процессы? Как помочь природе справиться с уже нанесенным экосистемам ущербом, не причинив ещё большего вреда? Можем ли мы это сделать для уже загрязненных, но труднодоступных локаций – например для донных осадков морей или озёр?

Можно рассмотреть проблемную ситуацию и с другой стороны – некоторые вносимые человеком в биосферу загрязняющие её вещества, могут быть рассмотрены как источники энергии, как топливные субстраты для природной микрофлоры. Можем ли мы подобрать такие микроорганизмы или создать селективные условия для представителей природной микрофлоры, чтобы они не только разлагали вредные соединения, но и “отдавали” нам (через соответствующие биоинженерные устройства) часть полученной ими энергии?

## 2. ПРИВЯЗКА К ПРЕДМЕТНЫМ ОБЛАСТЯМ ЗНАНИЯ

Биология, технология, физика, химия.

## 3. ЦЕЛИ ПРОЕКТА

**Мировоззренческая:** формирование биологической онтологии в рамках концепции устойчивого развития системы "Природа-Общество-Человек".

**Продуктовая:**

* Комплекс модельных донных микробных топливных элементов с системой сбора данных и протоколы его использования в (минимум) 2 вариантах: (1) для изучения влияния физических, химических, биологических факторов среды на биоэлектрохимическую активность; (2) для формирования биологической электрической батареи с различными вариантами параллельно-последовательных соединений как источника возобновляемой энергии для питания электронных устройств
* Методика сравнительной оценки биологической (дыхательной, ферментативной) и электрогенной активности донных отложений разных типов в нативных условиях и при искусственном химическом загрязнении, прогноз эффективности их биоэлектрохимической ремедиации, способности к детоксикации поллютантов.
* Лабораторная и полевая (на морском дне) установки микробных топливных элементов, функционирующих как источники питания для маломощных устройств сбора и передачи данных. Оценка перспектив создания сети на основе подобных устройств.
* Модельная система на основе батареи проточных биореакторов - микробных топливных элементов и протоколы её использования для очистки загрязнённой воды, снижения уровня токсичности. Сравнительная оценка потенциала эффективности очистки в активном проточном (циклическом) режиме и природоподобных водно-бентосных системах.

**Образовательная - освоение основ:**

* Техническая – проектирование биоинженерных устройств
* Биологическая – работа с микроорганизмами, оценка токсичности сред.
* Химическая – измерение концентраций целевых веществ
* Физическая – работа с электрическими цепями и электронными устройствами

## 4. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА

* В образце повторяет продуковые цели – сделать аналогично?
* База данных по генотипам реликтовых и исчезающих, редких видов растений на территории РФ
* Устойчивый клон растений с последующим масштабированием в различных климатических условиях
* Развитие отрасли растениеводства

## 5. ЭТАПЫ РЕАЛИЗАЦИИ

1-Й ЭТАП – подготовка лабораторных и полевых (море, руч. Лагерный) комплектов донных МТЭ, отбор и анализ образцов из предполагаемых мест установки, подготовка проточной системы и модельных образцов загрязненных вод, подготовка микробных культур;

2-Й ЭТАП – установка донных МТЭ в выбранных локациях, моделирование в лаборатории возможно близких условий, внесение токсикантов, регистрация данных, отработка методов, корректировка схемы экспериментов в случае необходимости;

3-Й ЭТАП – химические, биологические анализы состояния биоэлектрохимических систем, оценка биологической активности, достигнутого эффекта ремедиации и оценка её потенциала, работы электронных устройств от МТЭ как источников тока, первичные выводы;

4-Й ЭТАП – подготовка к переводу полевой части эксперимента в пролонгированный полуавтономный режим до периода отрицательных температур (окт-нояб).

### ДОРОЖНАЯ КАРТА МОДУЛЯ

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Этап работы | Цель | Описание | Планируемый результат |
| Введение | Обоснование актуальности работы над задачей кейса | Проводим сопоставление между различными способами очистки окружающей среды. Выявляем положительные и неисследованные аспекты методов электробиоремедиации, технологий МТЭ | Присвоение задачи кейса, распределение ролей |
| Подготовительный | Отработка базовых методов манипуляций с наборами МТЭ, их модификация учениками исходя из видения проблем | Сбор и приведение в готовность к рабочему режиму (1) донного МТЭ для морских условий (2) донного МТЭ для пресноводных условий (3) лабораторного модельного МТЭ для морских условий (4) лабораторного модельного МТЭ для пресноводных условий (5) системы проточных лабораторных МТЭ. Обсуждение учениками возможных вариантов экспериментов, , модификация устройств исходя из видения проблем | Биоэлектрохимические системы подготовлены к работе и/или модифицированы, намечена дорожная карта экспериментов.  (вариативность электродных материалов, конструкций и расположения электродов между собой и межфазной границей, способами их биологической и химической подготовки, внесения катализаторов и др.) |
| Отбор образцов воды, донных отложений, их физико-химические, биологические анализы. Первичное знакомство с аналитическими методами. Подготовка модельных загрязненных образцов | Отобраны образцы воды и донных отложений из моря (залив Петра Великого) и пресного водоёма (ручей Лагерный?). Проведён их первичный анализ по следующим параметрам (тут вариативно, исходя из наличия или доступности приборной базы)  - рН  - ОВП  - О2 раств.  - СО2  - ХПК или БПК  - конц. тяж. мет.  - конц. нефтепродуктов  - конц. СПАВ  - ОМЧ (КОЕ/мл, г)  - токсичность (метод?)  - … ?  Подобран состав и концентрации модельных загрязнителей для воды и донных отложений  Осуществлено культивирование, наращивание до необходимых концентраций микроорганизмов-электрогенов и биодеструкторов | Отобраны пробы, в процессе их анализа проведено знакомство с методами физико-химических, биологических анализов  Оценить времятрудозатраты на измерительные процедуры, готовность учеников брать на себя процесс, вероятные распределения ролей  Какие анализы можно делать на месте, что на базе ДВФО |
| Закрепление знаний и первичных навыков работы в лаборатории и полевых условиях | Закреплены знания и навыки | Закреплены знания и навыки |
| Реализационный | Установка донных МТЭ в выбранных локациях, моделирование в лаборатории возможно близких условий, внесение токсикантов, регистрация данных, отработка методов, корректировка схемы экспериментов в случае необходимости | Погружение, установка полевых донных МТЭ в 2 места локаций (в море – в заливе ВДЦ ставить или в порту в зоне реального загрязнения или в обеих точках?), отработка снятия данных (электрогенез, температура воды, освещенность?). Ставим параллель с токсикантами сразу?  Запуск двух модельных лабораторных МТЭ с аналогичными условиями. Параллель с токсикантами сразу или внесём их через какое то время?  Запуск проточных биореакторов-МТЭ на модельной воде. Вероятно на пресной воде. Вариация конструкций электродов и состава микроорганизмов. Отработка режимов прокачки, вытеснительной модели, вариантов цикличности | Запущены пять (?) параллельных эксперимента с целью получения сравнительных данных |
| Химические, биологические анализы состояния биоэлектрохимических систем, оценка биологической активности, достигнутого эффекта ремедиации и оценка её потенциала, работы электронных устройств от МТЭ как источников тока, первичные выводы; | Текущий постоянный мониторинг (желательно средствами цифровой лаборатории) – рН, ОВП, О2, электрогенез (средствами МТЭ, контроль вольтметром)  Периодический анализ (1-2 раза) на токсиканты (исходя из доступных методов) – УВ, ТМ, СПАВ.  Анализ дыхательной или ферментативной активности микробных сообществ донных отложений (диацетатом флуоресцеина или по микрореспираторным тестом)  Тест на снижение токсичности (люминесцентный или фитотестированием)  Оценка работы электронных компонентов (по удалёнке с Андреем Лазукиным), оценка возможности использования бентосных МТЭ как источников автономного питания водных устройств-потребитеелей  Было бы вообще красиво подключить мол.генетику (если кто то возьмёт образцы на ПЦР-анализ) как доп.эффект и с заделом на будущее – оценка содержания “генов электрогенности” (на шеванеллу/геобактер, нанотрубки, специфические цитохромы) по итогам полевых экспериментов в образцах. В РФ это вообще не реализовано пока | Следующие логики сравнения с выводами:  (1) электрогенез полевых и лабораторных МТЭ (какова разница и что за факторы повлияли)  (2) влияние наличия/внесения веществ-токсикантов на электрогенез, оценка количественной связи (*тут мы аккуратно к опции биосенсоров привязываемся*)  (3) степень деградации / детоксикации загрязняющих веществ (*возможно будет невелика за краткий период опыта*) и оценка ремедиационного потенциала биоэлектрохимических систем  (4) поиск связей между конструкциями биоинженерных систем, наличием микробов или химических стимуляторов, биологической активностью микробных сообществ и электробиоремедиацией  (5) потенциал применения МТЭ для питания устройств – тут коэффициент масштабирования по сути надо найти. |
| подготовка к переводу полевой части эксперимента в пролонгированный полуавтономный режим до периода отрицательных температур (окт-нояб) | Было бы великолепно если из местного научного актива найдутся желающие последить за работоспособностью устройств на протяжение еще нескольких месяцев (до минусовых температур) и извлечь из моря / ручья (лаб.стенда?) по итогам образцы, передать на хим.анализ в ДВФО – эффект ремедиации за 3-4 месяца уже будет заметен. | Статья, модельный стенд, экспериментальный полевой полигон |
| Экспертный | Коммуникация с экспертным сообществом | Обсуждение результатов работы над задачей кейса, рефлексия результатов, постановка последующих целей | Получена экспертная оценка, разработан план-график дальнейшей реализации |

## 6. ОБОРУДОВАНИЕ И МАТЕРИАЛЫ

## *логично детализировать после согласования/корректировки общей схемы работ по таблице выше*

## Основное оборудование и материалы

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Название | Характеристики (если необходимо) | Кол-во | Краткое описание назначения в проекте | Цена за ед., руб. | Сумма, руб. |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |

## Вспомогательное оборудование и материалы

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| № | Название | Характеристики (если необходимо) | Кол-во | Краткое описание назначения в проекте | Цена за ед., руб. | Сумма, руб. |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |