

Российский национальный юниорский водный конкурс-2019

Областное государственное бюджетное учреждение
дополнительного образования «Дворец творчества детей и молодежи»

Проектная работа
Донная станция мониторинга водоёмов
на основе микробного топливного элемента

Автор: **Архипова Анастасия Сергеевна**, 11 класс, 17 лет, обучающаяся ОГБУ ДО «Дворец творчества детей и молодежи»;

Руководители: **Волченко Никита Николаевич**, доцент ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»;

Лазукин Андрей Александрович, студент 4 курса ФГБОУ ВО «Кубанский государственный университет»;

Вихирева Светлана Владимировна, педагог естественнонаучного комплекса ОГБУ ДО «Дворец творчества детей и молодежи»

Ульяновск, 2019

Научная аннотация

Микробный топливный элемент (далее МТЭ) – биотехнологическое устройство, позволяющее преобразовывать энергию химических связей органических веществ в электрическую посредством микроорганизмов. В настоящее время все более остро стоит вопрос о целесообразности масштабного экологического мониторинга, как в городах, так и на водных объектах, с целью информационной поддержки различных управленческих решений, охраны и оздоровления окружающей среды, интеграции полученной информации в различные ведомства.

Данная концепция предусматривает использование автоматизированных систем экологического контроля, которые могли бы производить замеры благодаря наличию специальных измерительных устройств и датчиков и затем передавать информацию в центр обработки информации.

Актуальность проекта: необходимость поиска альтернативных источников энергии для автоматизированных станций экологического мониторинга.

Цель проекта : создание оптимизированных микробных топливных элементов для комплекса автоматического экомониторинга повышенной автономности.

Для исследования были сконструированы микробные топливные элементы бентосного типа. Данные МТЭ отличаются отсутствием протон-селективной мембраны и наличием открытого взаимодействия с окружающей средой. Данная особенность является ключевой в вопросах выбора МТЭ именно бентосного типа, так как позволяет производить генерацию энергии в непрерывном режиме, используя только диффундирующие из окружающей среды органические вещества. Следовательно, была экспериментально подтверждена возможность генерации электрического тока посредством МТЭ в шельфовой зоне Черного моря. Были достигнуты мощности в 85 и 75 мкВт.

Таким образом, МТЭ является перспективным источником питания для маломощных автономных устройств, удовлетворяющим условиям скрытности и практически неограниченной по времени генерацией электрической энергии.

**Донная станция мониторинга водоемов на основе
микробного топливного элемента**

А.С. Архипова

Краткая аннотация

Микробный топливный элемент (МТЭ) – биотехнологическое устройство, позволяющее преобразовывать энергию химических связей органических веществ в электрическую посредством микроорганизмов. Это может быть использовано в автономных автоматизированных системах экологического контроля водоёмов. Была экспериментально подтверждена возможность генерации электрического тока посредством МТЭ в шельфовой зоне Черного моря и в условиях пресноводного старичного водоёма в Среднем Поволжье. Были достигнуты мощности в 85 и 75 мкВт.

1. Введение

Актуальность проекта заключается в необходимости поиска альтернативных источников энергии для автоматизированных станций экологического мониторинга. В настоящее время все более остро стоит вопрос о целесообразности масштабного экологического мониторинга как в городах, так и на водных объектах, с целью информационной поддержки различных управленческих решений, охраны и оздоровления окружающей среды, интеграции полученной информации в различные ведомства.

Ранее в Кубанском госуниверситете уже была показана возможность использования МТЭ для генерации электричества. Микробный топливный элемент (МТЭ) – биотехнологическое устройство, позволяющее преобразовывать энергию химических связей органических веществ в электрическую посредством микроорганизмов.

Региональный компонент. Ульяновская область богата водными ресурсами, всего на ее территории протекает 2030 рек, речек и ручейков общей длиной 10 294 км. В то же время в области сложились неблагоприятные условия, определяющие экологическое состояние водных объектов и необходимость мониторинга состояния водоёмов.

Проблема. Сложная экологическая обстановка не только в регионе, но и, в целом, по всей стране требует данные об окружающей среде. Ручной отбор проб достаточно трудоемкий и нерегулярный, поэтому появляется необходимость создания автономной станции для мониторинга водоемов.

Существующие решения.

Метеорологический буй на реке Потомак. В августе 2004 г. на реке Потомак был установлен метеорологический буй (Фото 1) питающийся от шести донных МТЭ. Они более десяти лет обеспечивали напряжение, необходимое бую для измерения температуры и относительной влажности воздуха, атмосферного давления и температуры воды.

Возможные решения. Для решения этой проблемы наш проект предлагает технологию изготовления и практического применения в экологическом мониторинге микробного топливного элемент (МТЭ).

Данные МТЭ отличаются отсутствием протон-селективной мембраны и наличием открытого взаимодействия с окружающей средой. Данная особенность является ключевой в вопросах выбора МТЭ именно бентосного типа, так как позволяет

производить генерацию энергии в непрерывном режиме, используя только диффундирующие из окружающей среды органические вещества.

Проект был реализован в рамках проектной сметы ОЦ Сириус летом 2018 г., испытания продолжены на территории Ульяновской области. Для исследования были сконструированы микробные топливные элементы бентосного типа (Фото 2).

Место реализации проекта. Воды Черного моря (пляж ОЦ «Сириус») на малой глубине (6 метров). Прибрежная зона Черного озера – памятника природы Ульяновской области, являющегося старицей р. Свияги на территории г. Ульяновска (Фото 3-5).

Гипотеза. Специфические микробные сообщества иловых отложений обладают достаточной энергоемкостью для создания на их основе МТЭ.

Цель проекта. Создание оптимизированных микробных топливных элементов для комплекса автоматического экомониторинга повышенной автономности.

Для достижения цели определены следующие **задачи**.

1. Модифицировать конструкцию микробного топливного элемента.
2. Отобрать образцы донных отложений из различных водоёмов и исследовать их электрогенную активность.
3. Изучить биологическую активность образцов, физико-химические показатели.
4. Изучить возможность использования микробных топливных элементов для комплекса автоматического экомониторинга повышенной автономности.

2. Этапы реализации проекта

1 этап – аналитический. Анализ ситуации, определение основных целей и задач проекта.

2 этап – организационный. Составление плана мероприятий, алгоритма действий.

3 этап - практическая деятельность. Организация деятельности, направленной на достижение цели исследования.

4 этап - итоговый, рефлексивный. Обобщение опыта и определение результата практической деятельности.

Выполнение проекта

1. Создание МТЭ и его апробация в различных условиях.

Создание МТЭ: Для их изготовления использовались графитовые стержни, арматура (стеклопластик), провода, горячий клей, углеродный войлок марки НТМ-200М (Анод и катод). Анод представлял собой плоский отрезок войлока в виде

прямоугольника со сторонами 10 на 15 см, при этом толщина войлока составляла 0,5 см. Катод был выполнен в виде квадрата со сторонами 5 см. Оба электрода были расположены вертикально друг над другом. Фиксация электродов была осуществлена таким образом, что электроды были разнесены на 15 см друг от друга (Фото 6).

Принцип МТЭ: Электрогенные микроорганизмы находятся в анодной камере, в которой поддерживаются анаэробные условия. Катод находится в катодной камере, в анаэробных условиях. Принцип работы заключается в «отрыве» микроорганизмами электронов от субстрата питания и передачи их на анод, который выполняет роль акцептора электронов. Электроны начинают движение от анода к катоду, под действием разности окислительно-восстановительного потенциала. На катоде происходит восстановление кислорода с образованием воды. Одновременно с отрывом электронов от субстрата происходит образование протонов водорода, которые проходят через ионно-селективную мембрану из анодной камеры в катодную, где и соединяются с кислородом с образованием воды. Фиксация результатов производилась посредством микроконтроллера ArduinoUNOV3.0. Микроконтроллер измерял электрогенез МТЭ и производил запись данных на CD карту. Запись напряжения производилась с периодом в 30 минут. Эксперимент продолжался на протяжении 44 часов. Питание микроконтроллера производилось от литий-ионных аккумуляторов общей емкостью 6000 mAh. Микроконтроллер и аккумулятор были собраны в специальной плавучей герметичной камере, которая располагалась в воде на расстоянии от поверхности 1 метр. Связь с МТЭ происходила посредством электрического провода длиной 5 метров.

Лабораторный эксперимент.

Эксперимент состоял из несколько этапов:

- 1) Забор ила и воды из Черного озера;
- 2) измерение pH;
- 3) исследование энергоёмкости МТЭ.

В результате проведенного эксперимента проведены замеры тока, напряжение с помощью мультиметра, рассчитанная мощность составила 115,36 мВт. Мультиметр является электронным измерительным прибором, способным измерить различные параметры электрической цепи, в том числе и силу тока.

Водородный показатель измерялся с помощью универсального Мультимонитора PH-02636. Показания pH равны 8,46. Среда слабо щелочная. (Фото 7-8).

Оценка дыхательной активности микробных сообществ из различных источников методом мультиреспираторного теста (МРТ). При дыхании

микроорганизмов рН среды изменяется, вследствие чего крезол красный изменяет свою окраску. Чем активнее дышит микробное сообщество, тем желтее цвет соответствующей лунки. Можно увидеть, где активнее всего дышит микробное сообщество: в Малоновой и Янтарной кислотах. (Фото 9-11)

3. Результаты проекта

В результате проведенного исследования цель достигнута. Создан оптимизированный микробный топливный элемент для комплекса автоматического экомониторинга повышенной автономности.

Изучена возможность использования микробных топливных элементов для комплекса автоматического экомониторинга повышенной автономности. Исследование показало возможность генерации слабого электрического тока. Напряжение под нагрузкой поднималось до 292 мВ для МТЭ 2 и до 274 мВ для МТЭ 1, что соответствует мощности 85 мкВт и 75 мкВт соответственно.

Следовательно, экспериментально подтверждена возможность генерации электрического тока посредством МТЭ в шельфовой зоне Черного моря. Достигнутые мощности в 85 и 75 мкВт достаточны для обеспечения энергией маломощных процессоров в различных «ждущих схемах» (Wang, Park, Ren, 2015). Так, напряжение может усиливаться посредством сверхнизковольтных преобразователей, запасаться в ионистрах и по достижении определенного заряда выводить процессоры из спящего режима для совершения полезной работы. Таким образом, МТЭ является перспективным источником питания для маломощных автономных устройств, удовлетворяющим условиям скрытности и практически неограниченной по времени генерацией электрической энергии. (Фото 11-12).

Задачи решены в полном объеме.

1. Улучшили конструкцию МТЭ для наиболее простого вхождения в ил и песок, увеличили его мощность.
2. Исследовали электрогенную активность отобранных образцов донных отложений.
3. Изучили биологическую активность образцов, физико-химические показатели.
4. Изучена возможность использования микробных топливных элементов для комплекса автоматического экомониторинга повышенной автономности.

Гипотеза «Специфические микробные сообщества иловых отложений обладают достаточной энергоемкостью для создания на их основе МТЭ» подтверждена.

4. Материальные затраты проекта (себестоимость МТЭ)

графитовые стержни	199 руб./1 упаковка
арматура (стеклопластиковая)	8,82 руб./ шт.
провода	350 руб.
горячий клей	15 руб./1 шт.
углеродный войлок марки НТМ-200М	5 300 руб./кг

1 электрод имеет стоимость 200 рублей. Конструкция МТЭ 600 рублей.

5. Перспективы развития проекта

Внедрение данной технологии и использование микробных топливных элементов в специализированных лабораториях позволит поднять экологический мониторинг в регионе на качественно новый уровень, как способ для снятия данных в большом количестве точек наблюдения в акваториях Среднего Поволжья.

6. Информационные источники

1. Дебабов В.Г. Производство электричества микроорганизмами. М.: ФГУП «Наука», 2008.
2. Букач О.В., Мякинкова Л.Л. Микробные топливные элементы: состояние исследований и практическое применение // Инноватика и экспертиза. Москва, 2014.
3. Соколова Т.Г. Получение электричества в микробных топливных элементах на основе анаэробных термофильных организмов // Инноватика и экспертиза. Москва, 2013.
4. Рассадина Е.В., Рассадин В.В. Экологический контроль загрязнения рек Ульяновской области. [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/ekologicheskiy-kontrol-zagryazneniya-rek-ulyanovskoy-oblasti>.
5. Микробные топливные элементы: получаем электричество, избавляясь от мусора. [Электронный ресурс] <https://postnauka.ru/talks/54243>.
6. Микробные топливные элементы https://www.youtube.com/watch?time_continue=6&v=5CtIsV9i5ZM
7. Анаэробная биodeградация органических соединений в микробных топливных элементах <https://cyberleninka.ru/article/n/anaerobnaya-biodegradatsiya-organicheskikh-soedineniy-v-mikrobnnyh-toplivnyh-elementah>
8. Экспресс-оценка качества воды на основе микробного топливного элемента. Лазукин А.А., Волченко Н.Н., Олефир А.В., Самков А.А. <https://elibrary.ru/item.asp?id=27362534>
9. Генерация электрического тока микробными топливными элементами в условиях стимуляции катодных процессов. Лазукин А.А., Волченко Н.Н., Олефир А.В., Самков А.А., Худокормов А.А. <https://elibrary.ru/item.asp?id=30689473>

Приложения



Фото 1. Метеорологический буй на реке Потомак

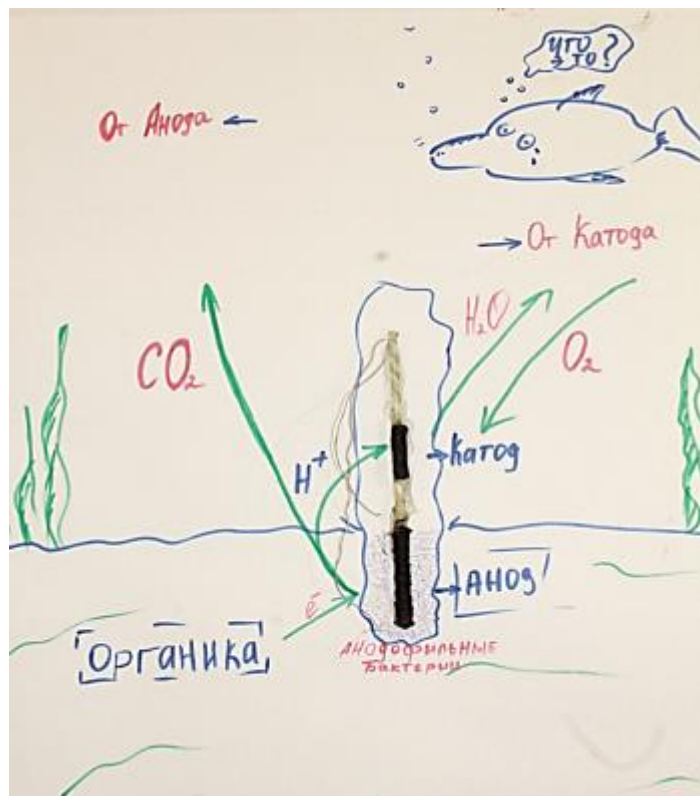


Фото 2. Модифицированная конструкция МТЭ – «Копьё Посейдона»



Фото 3. Памятник природы Черное озеро



Фото 4. Забор донных отложений Черного озера (Ульяновск)

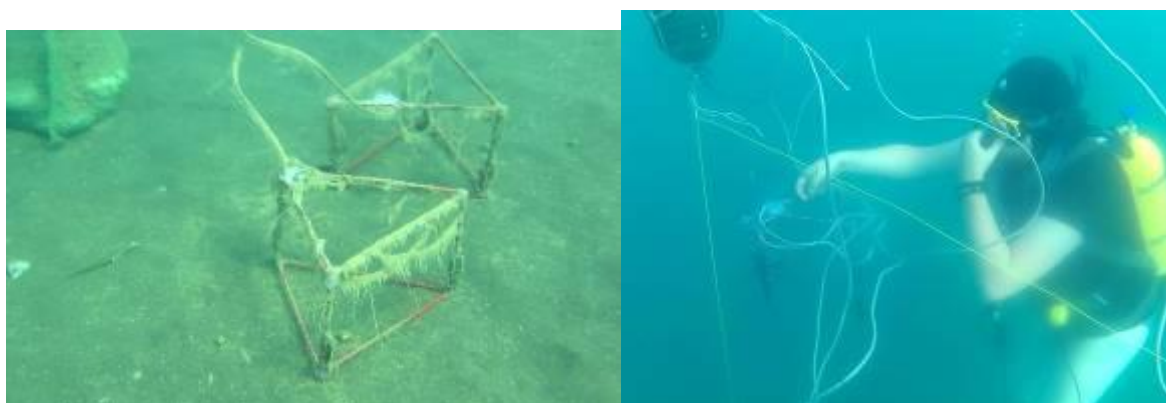


Фото 5. МТЭ в Черном море



Фото 6. Изготовление МТЭ

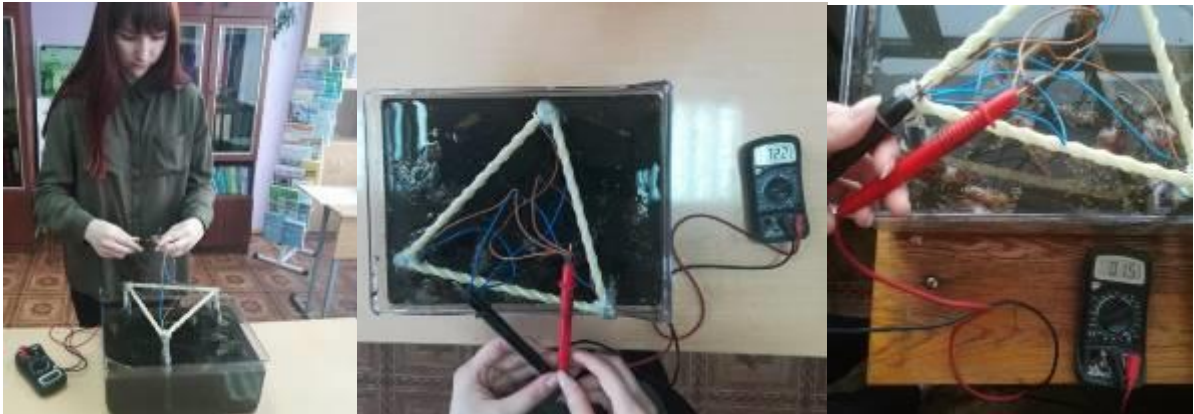


Фото 7. Измерение тока МТЭ



Фото 8. Измерение pH

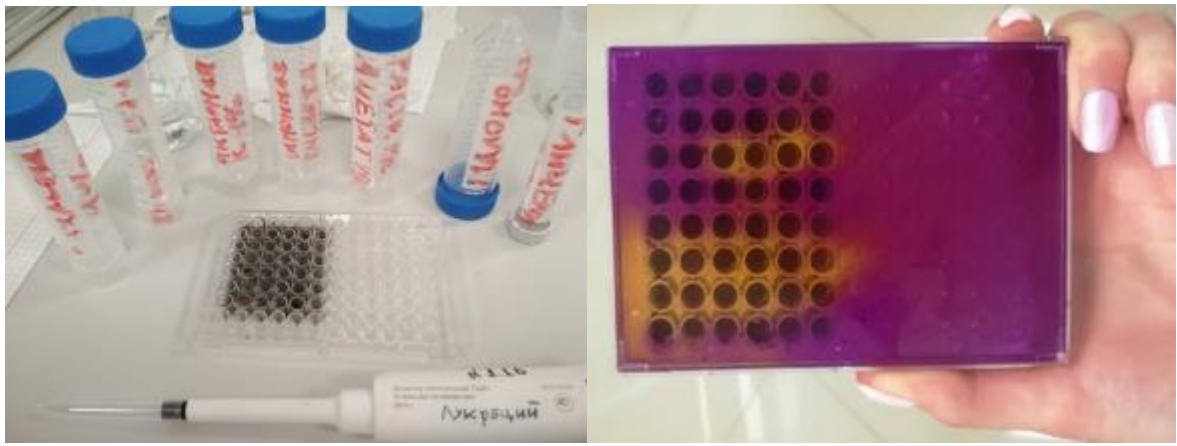


Фото 9. Биологическая активность образцов



Фото 10. Оценка количества микроорганизмов в образцах воды

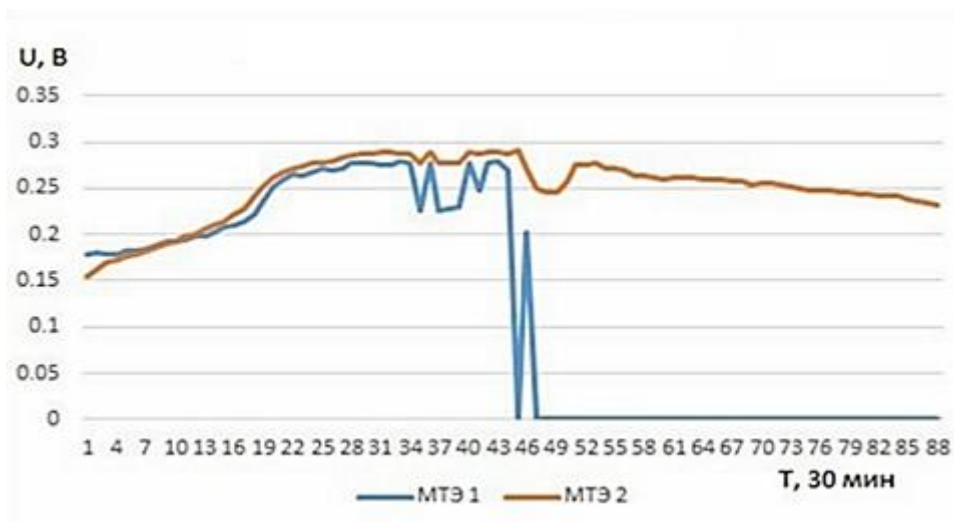


Фото 11. График электрогенеза МТЭ 1 и МТЭ 2



Фото 12. Конструкция МТЭ

Таблица 1. Количества микроорганизмов в образцах воды

Источник образца	Количество микроорганизмов в воде, кл/мл	Мощность
Канал	$7,4 \cdot 10^3$	145 мкВт
Морское дно	$2,1 \cdot 10^3$	80 мкВт
Имер.озеро	$5,4 \cdot 10^2$	Не измерялось
Р.Мзымта	$4,2 \cdot 10^2$	Не измерялось
Черное озеро	$4,7 \cdot 10^3$	115 мкВт