

Всероссийская конференция "Морская биология в 21 веке: биология развития, молекулярная и клеточная биология, биотехнология морских организмов"



Микробные топливные элементы донного типа – опыт функционирования в условиях Японского моря

Волченко Н.Н.², Масленников С.И.¹ Лазукин А.А.³, Пахлеванян А.А.¹ и др.

¹Национальный научный центр морской биологии им. А.В. Жирмунского ДВО РАН

²Кубанский государственный университет,

³Университет ИТМО

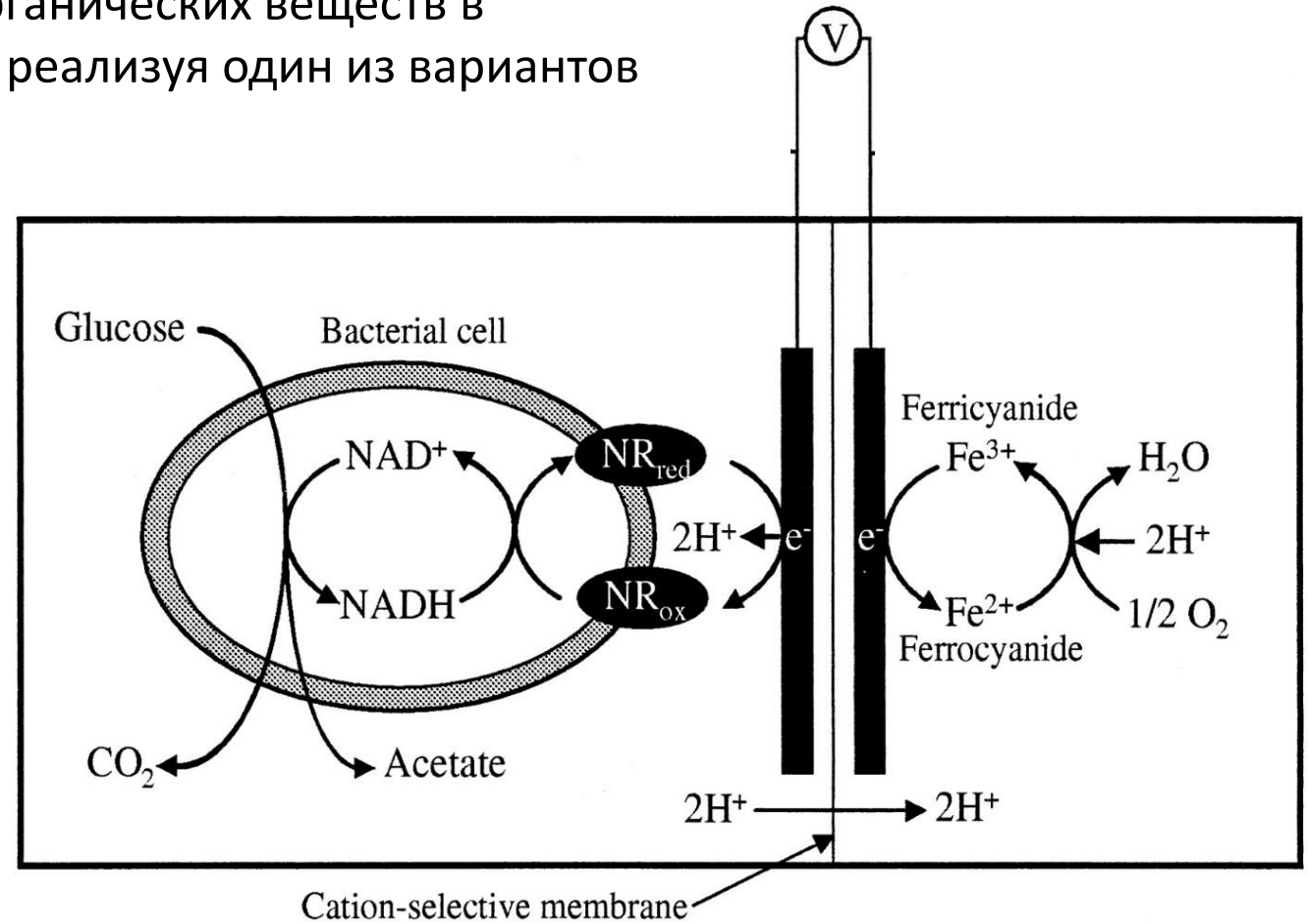
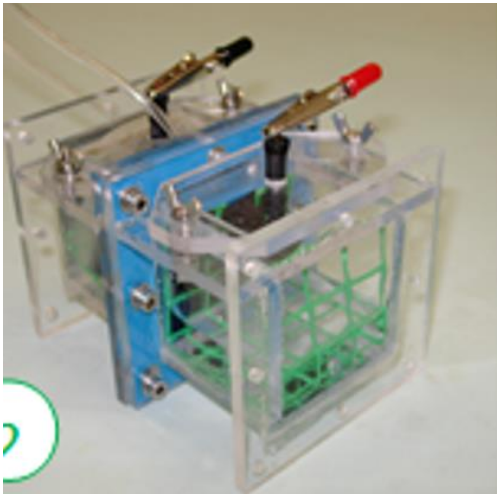
г. Владивосток, 12-15 сентября 2023 г



Цели исследования:

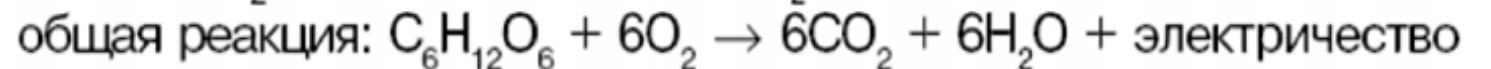
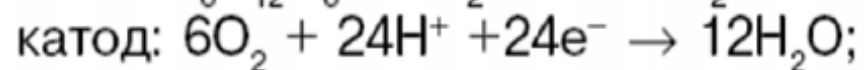
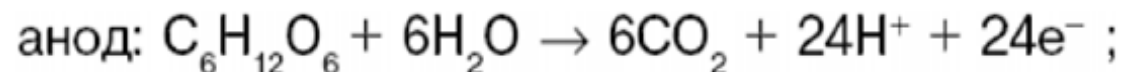
- на основе микробных топливных элементов бентосного типа изучить возможности биоэлектрогенеза в донных осадках в полном годовом цикле в полевых условиях
- разработать систему мониторинга параметров водной среды для марикультуры на основе автоматических датчиков с онлайн-трансляцией данных

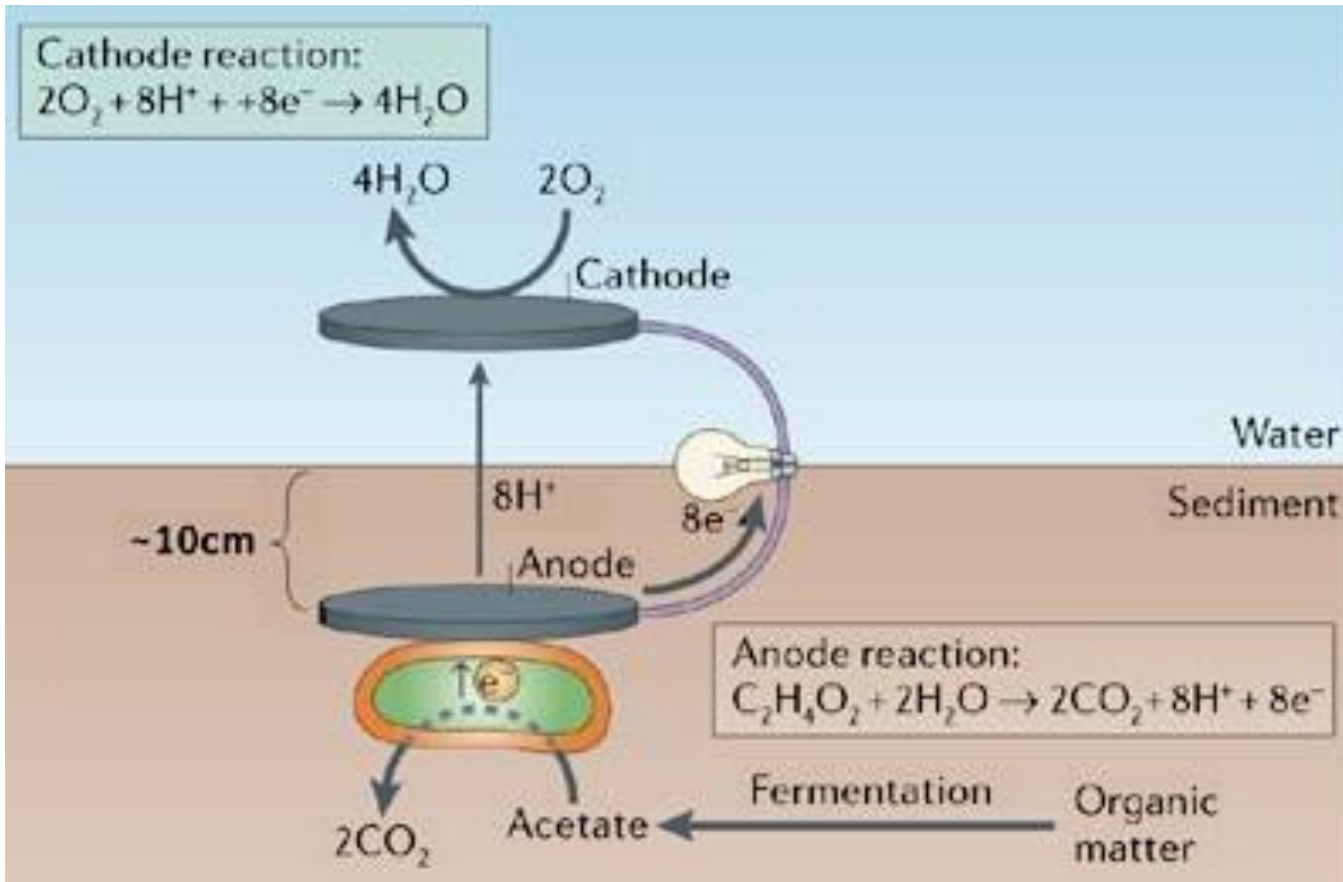
Микробный топливный элемент (МТЭ, MFC) - биотехнологическое устройство, преобразующее энергию химических связей органических веществ в электричество посредством микроорганизмов, реализуя один из вариантов анаэробного дыхания бактерий.



Возможные функции:

- источник электроэнергии
- доочистка сточных вод
- биоремедиация in situ
- биосенсор на токсиканты
- и др.





2008 г, р. Потомак, 11...16 мВт/м²

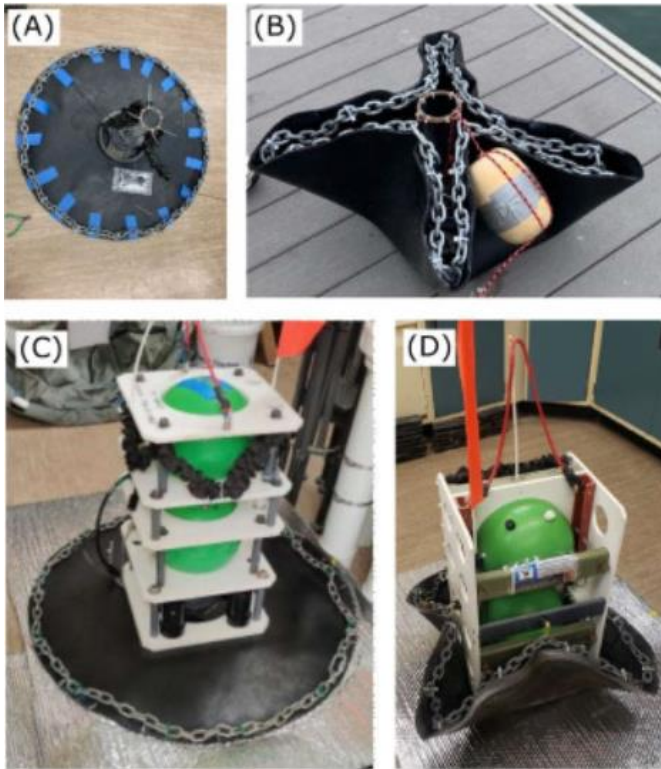


Bug juice: harvesting electricity with microorganisms

<https://www.nature.com/articles/nrmicro1442>

The first demonstration of a microbial fuel cell as a viable power supply: Powering a meteorological buoy (2008)

<https://doi.org/10.1016/j.jpowsour.2007.12.123>



Deep sea benthic microbial fuel cell split-release landers

<https://doi.org/10.1016/j.seta.2023.103352>

(2023)





ELSEVIER

Bioresource Technology Reports

Volume 6, June 2019, Pages 39-45



Operation of sediment microbial fuel cells in Tokyo Bay, an extremely eutrophicated coastal sea

Keiichi Kubota ^a  , Tomohide Watanabe ^a, Hideaki Maki ^b, Gen Kanaya ^b, Hironori Higashi ^b, Kazuaki Syutsubo ^b


[Show more](#) 

 Share  Cite

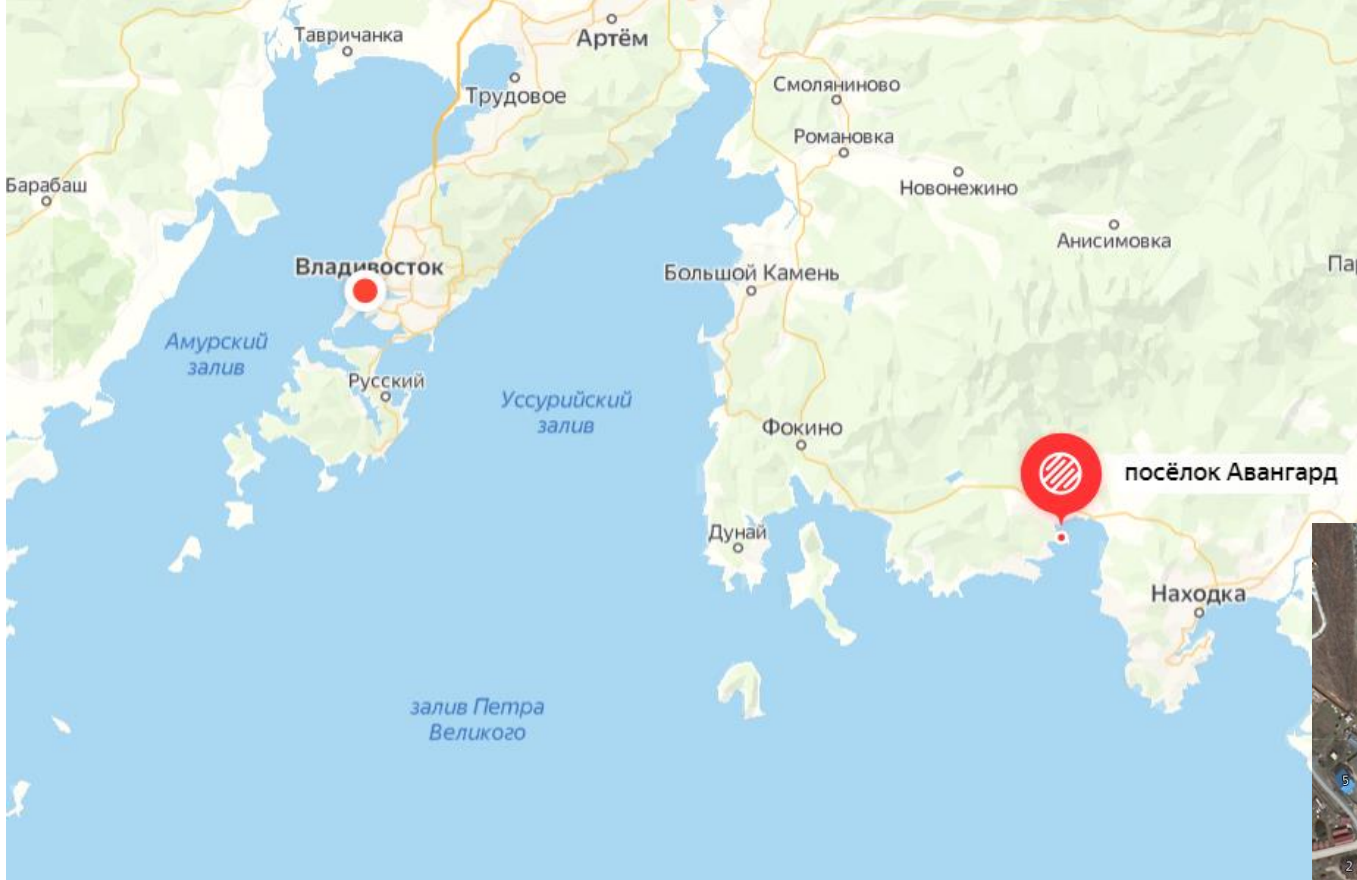
<https://doi.org/10.1016/j.biteb.2019.02.001> 

[Get rights and content](#) 

Эксперимент летом 2015 г на морском дне Токийского залива, батарея из 5 МТЭ. Достигнута максимальная мощность 11,5 мВт/м².

Также было достигнуто снижение концентрации сульфидов в донных осадках. Показана корреляция с концентрацией фитопланктона и освещенностью. 

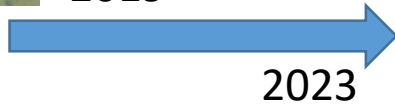
Мониторинг параметров водной среды для марикультуры на основе автоматических датчиков с онлайн-трансляцией данных



Полевые эксперименты на биостанциях 'Запад' и 'Восток' 2019 –2023 г.



2019



2023

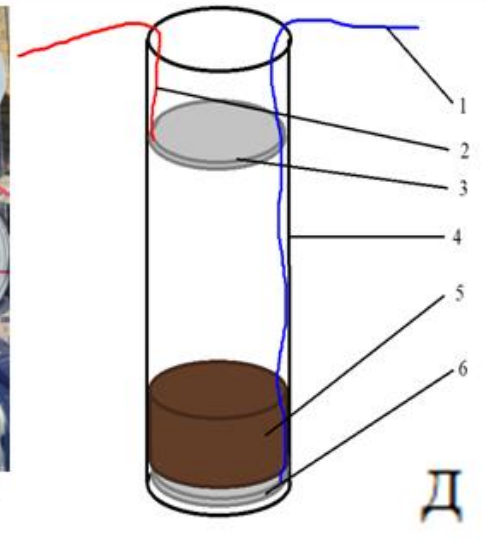
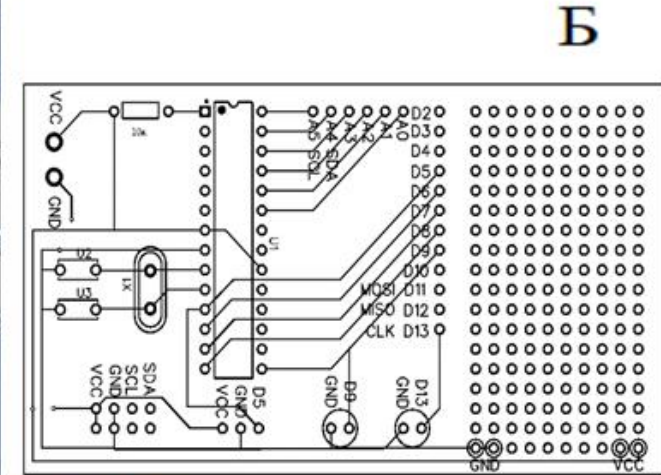


Схема устройства и внешний вид системы бентосных МТЭ (вариант «В» на 8 элементов), с датчиками мониторинга

А – внешний вид устройства в сборке, включая донный модуль, поверхностный модуль, донные и поверхностные датчики температуры, освещенности, электропроводности воды

Б – Чертеж печатной платы электронного блока донной части измерительного комплекса

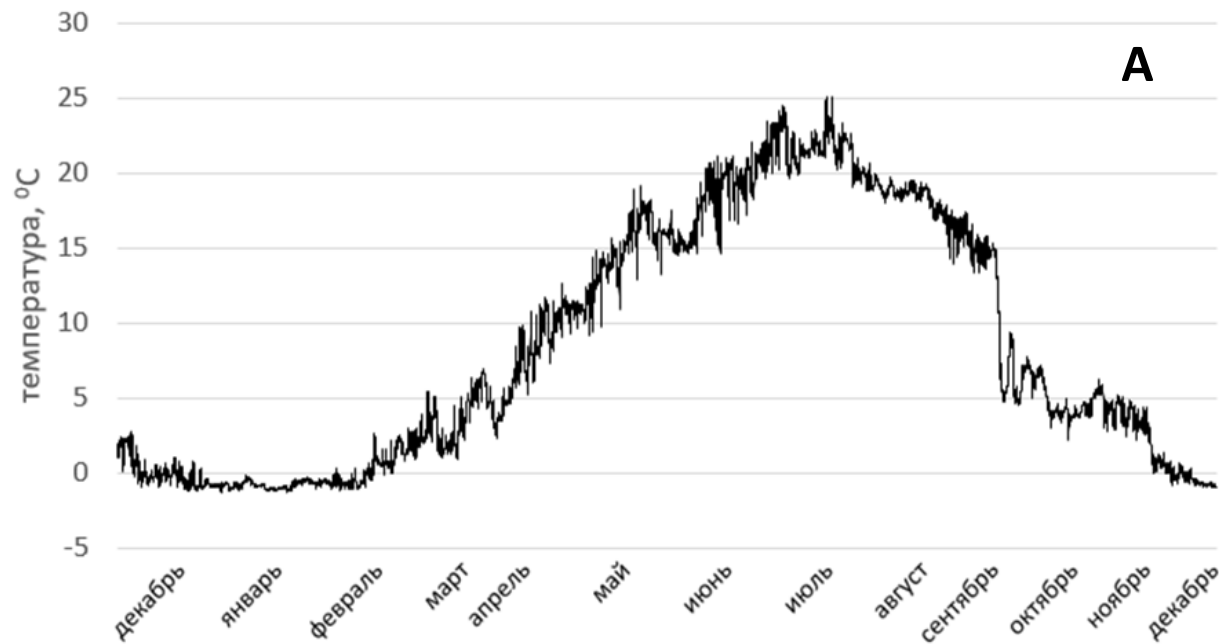
В – Внешний вид ёмкости микробного топливного элемента перед загрузкой образцами донного грунта (виден анод)

Г – Внешний вид шести микробных топливных элементов после загрузки образцами донного грунта (видны катоды)

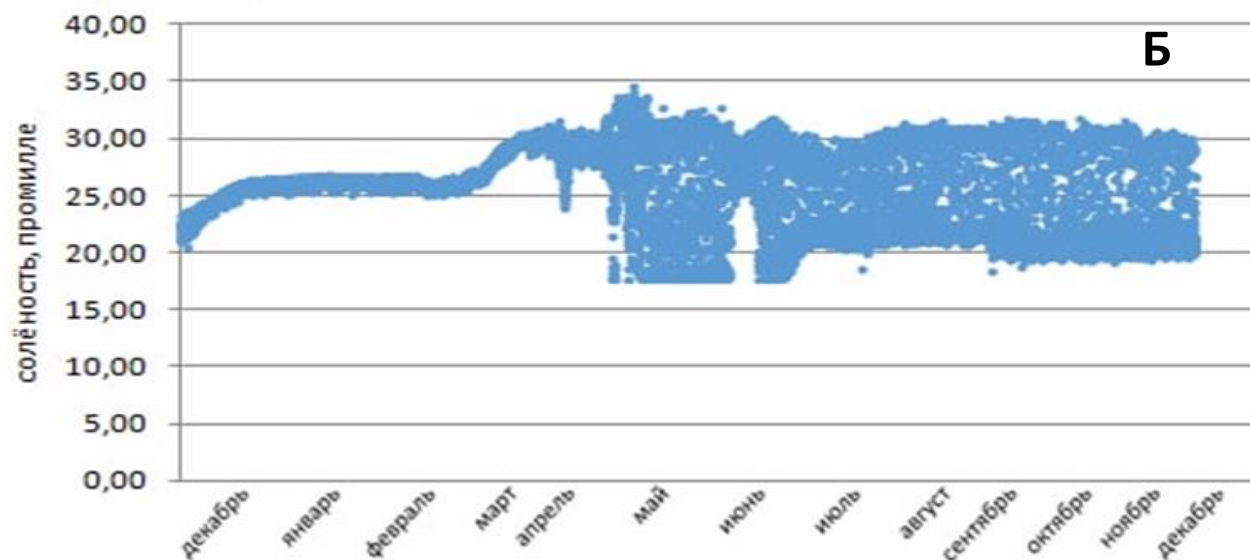
Д – Схема устройства бентосного МТЭ (1 – анодный провод; 2 – катодный провод; 3 – катод; 4 – корпус МТЭ; 5 – донный грунт; 6 – анод)



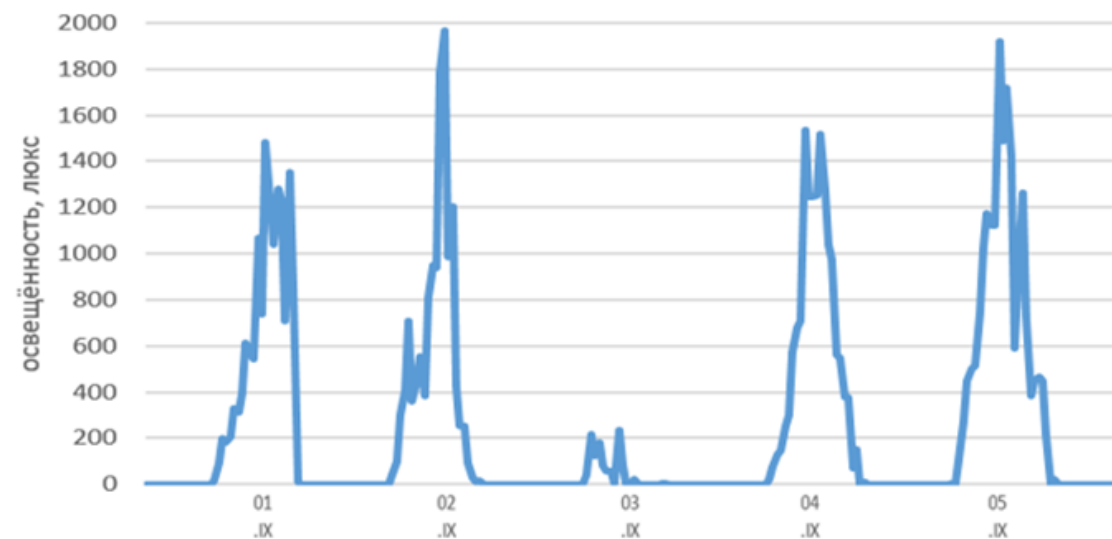




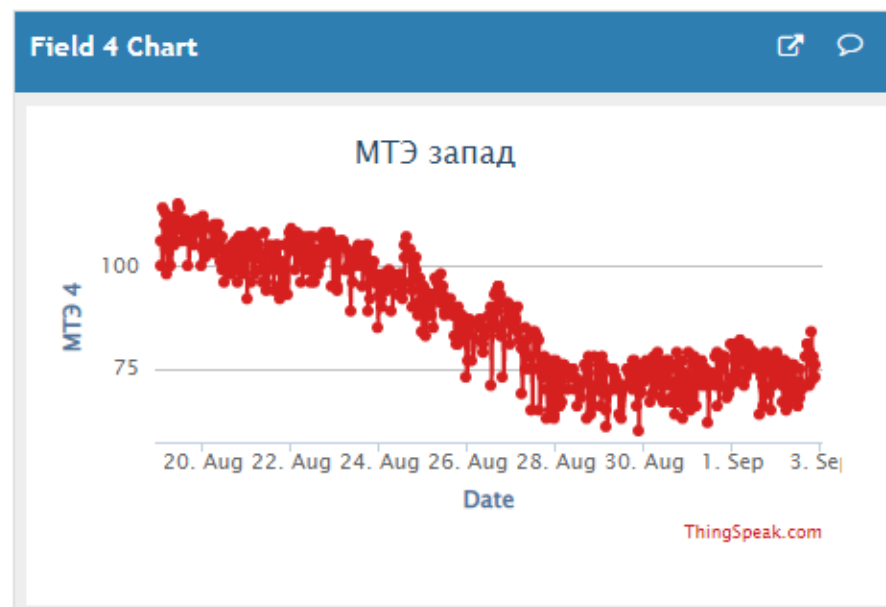
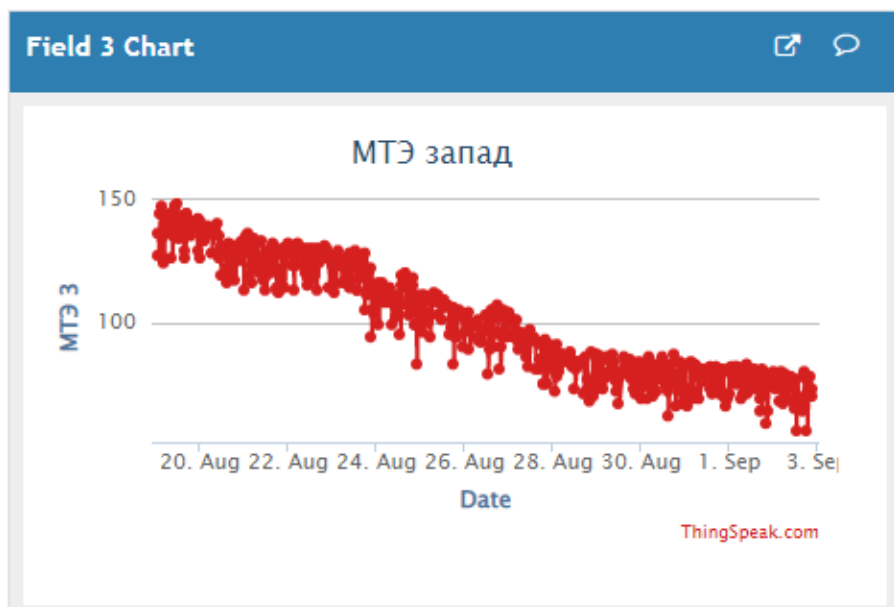
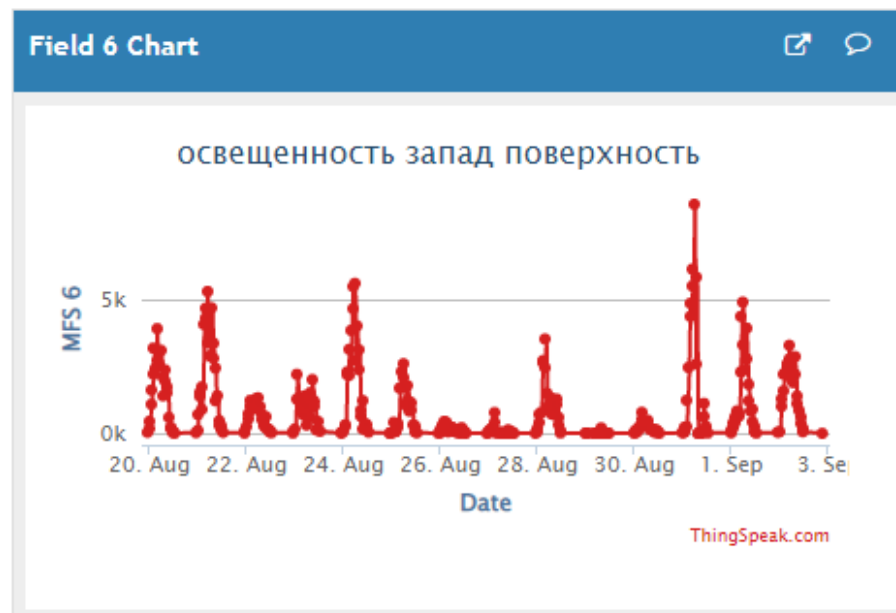
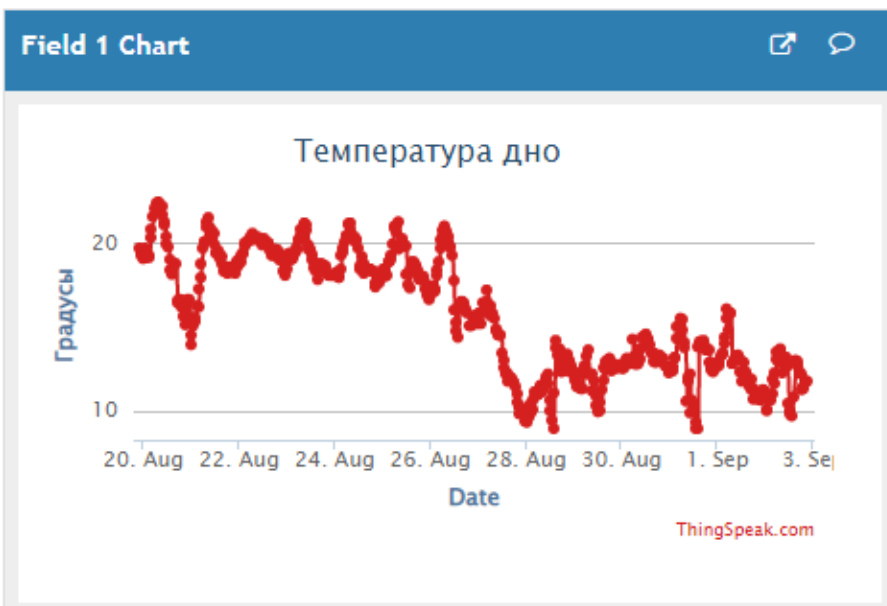
Температура (А) и солёность (Б) придонного слоя воды в бухте Восток автоматически регистрируемая устройством в течение годового цикла (2019/2020)



Освещённость придонного слоя воды в бухте Восток в период прохождения тайфуна “Майсак” (сентябрь 2020)



Пример онлайн-трансляции данных с датчиков температуры и освещенности, микробного биоэлектродногенеза б/с “Запад” – 2021 год





ID станции: bottom of the sea

Описание: Станция установлена на дне прибрежной зоны. Биостанция "Запад"

Локация: г.Владивосток

Экспорт данных в Excel для станции | Экспорт данных в CSV для станции

Последнее измерение от станции было получено 8 минут назад

Последние значения станции (На 2023-09-13 09:31:51)

Напряжение на МТЭ, мВ			
MFC_1_mv: 621.86	MFC_2_mv: 615.92	MFC_3_mv: 623.525	MFC_4_mv: -1.0
MFC_5_mv: 607.43	MFC_6_mv: 630.56		

Температура, градусы Цельсия

Освещенность по цветовым каналам, Люк

color_r: 196.53

Общая освещенность, Люксы

ID станции: Buoy on the water

Описание: Буй на станции "Запад". Измеряет освещенность и температуру

Локация: г. Владивосток

Экспорт данных в Excel для станции | Экспорт данных в CSV для станции

Последнее измерение от станции было получено 0 минут назад

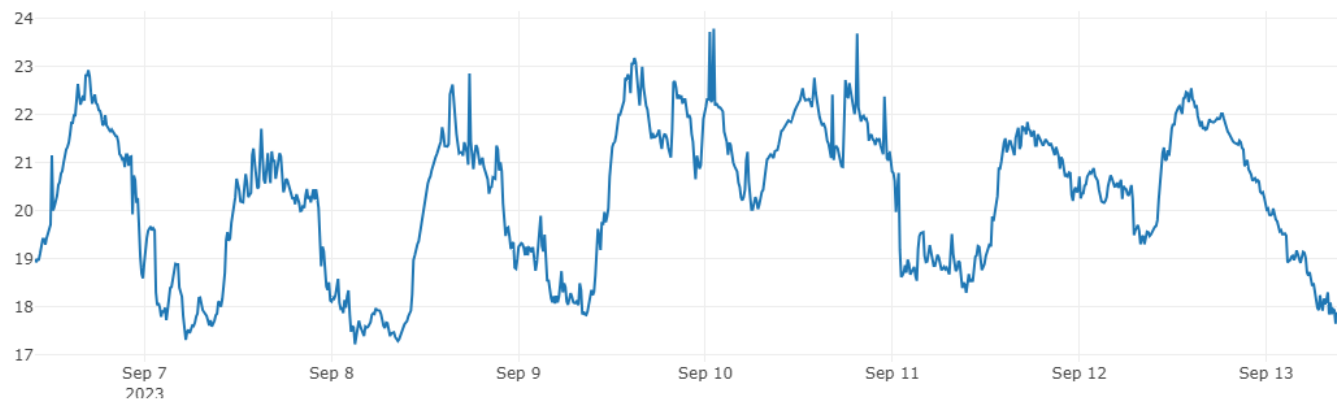
Последние значения станции (На 2023-09-13 09:44:50)

Общая освещенность, Люксы	temp_1_mv: 16029.5		
Температура, градусы Цельсия	temp_1_c: 17.99		
Освещенность по цветовым каналам, Люксы	color_r: 30719.5	color_g: 30719.5	color_b: 30719.5

Внешний вид сайта онлайн-трансляции б/с "Запад" – 2023 год

<https://aqua-monitoring.ru>

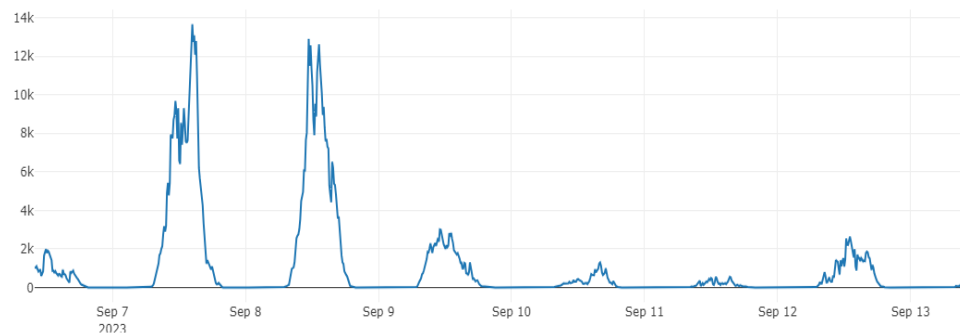
Температура, градусы Цельсия



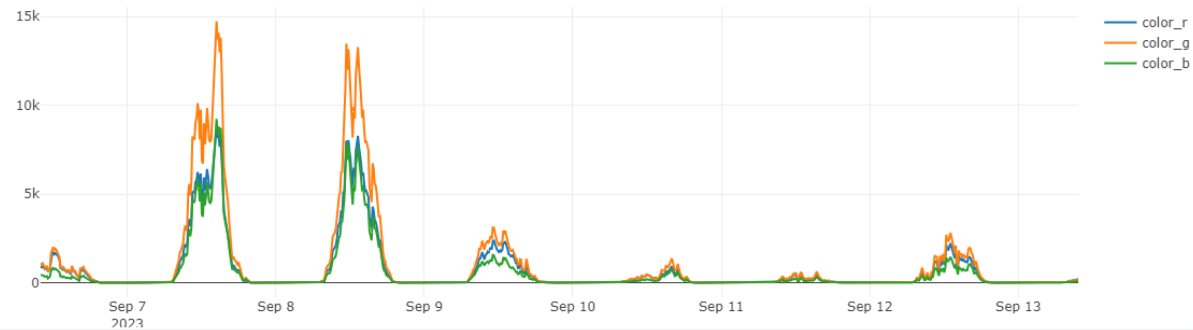
Данные онлайн-мониторинга датчиков б/с “Запад” за период 7-13 сентября 2023 г



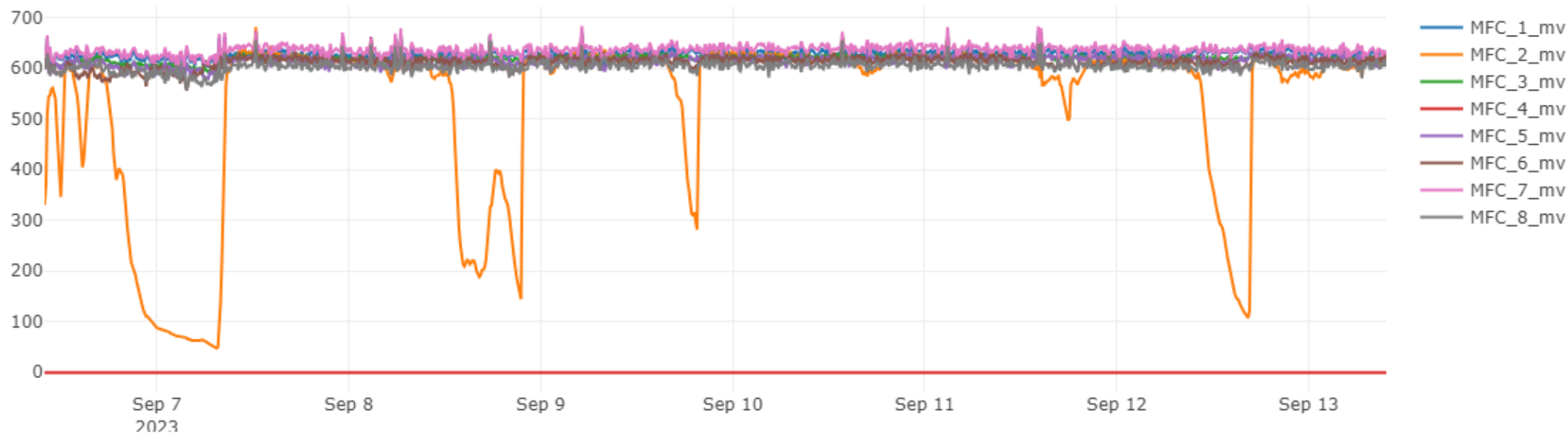
Общая освещенность, Люксы



Освещенность по цветовым каналам, Люксы

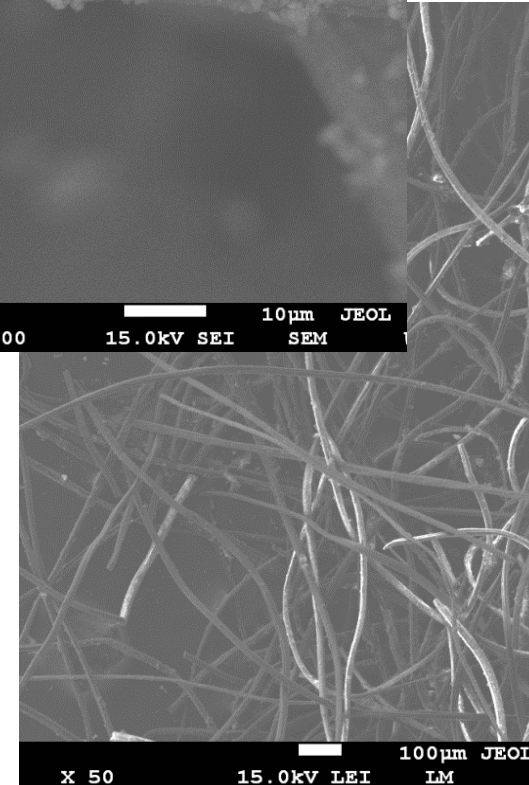
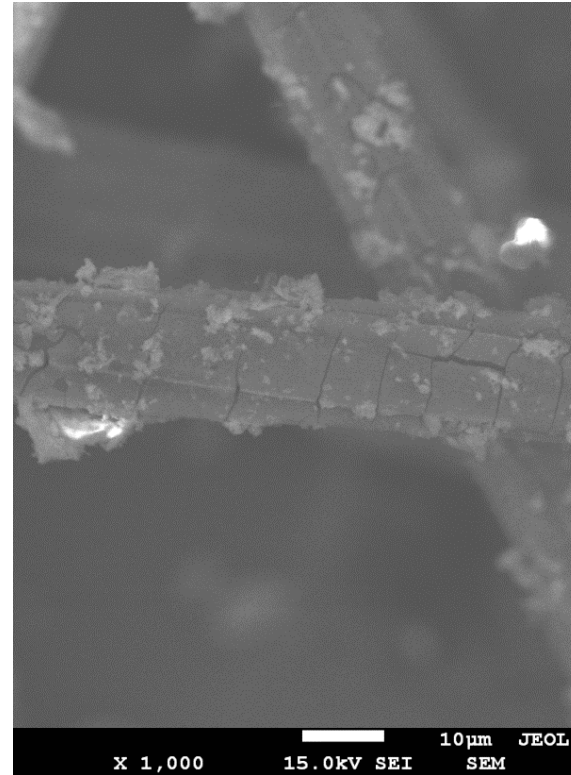
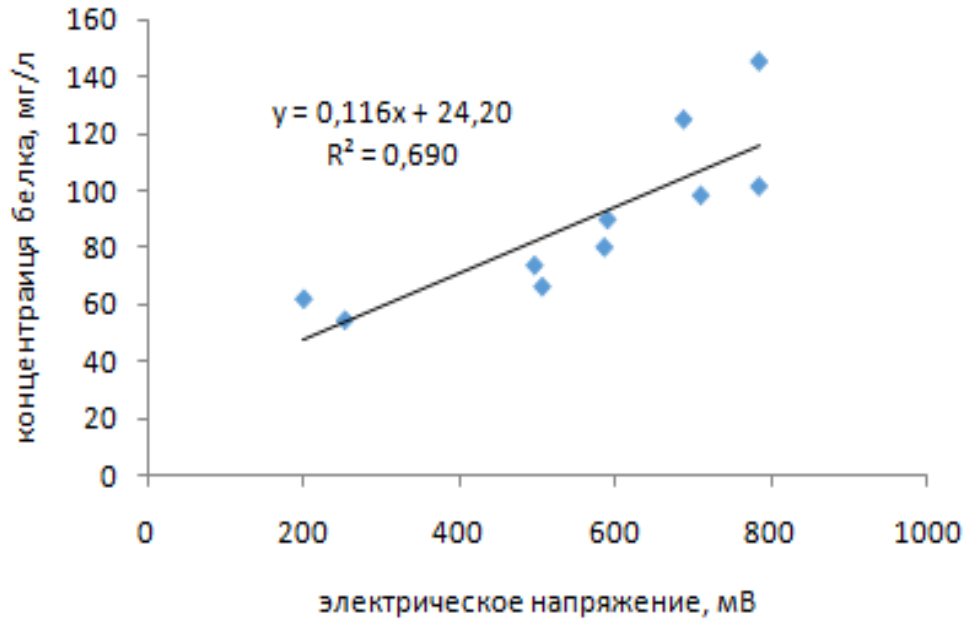


Напряжение на МТЭ, мВ

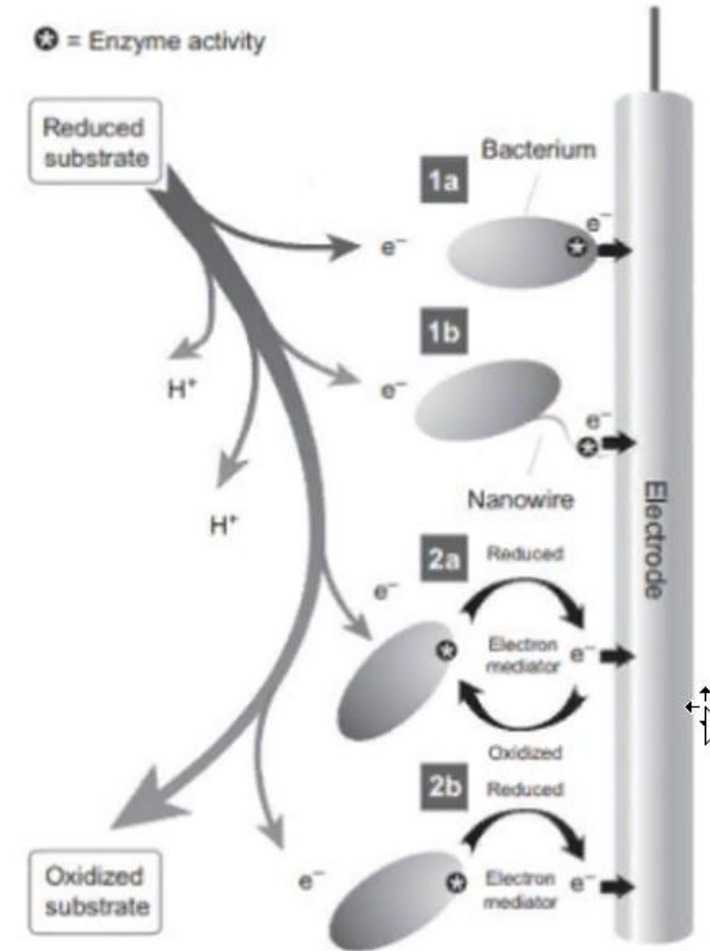


В полевых экспериментах (2020-2022 г) были достигнуты мощностные показатели - общая мощность биологической батареи составила **1.7 мВт**. Потребляемая мощность системы датчиков и передачи данных составляла **276 мВт**. Частота отправки пакетов данных составляла и в диапазоне **от 2 до 4 минут в полевых условиях** (6 раз в минуту в лабораторных условиях). Полученные результаты указывают на практическую возможность использования энергии микробных топливных элементов, в т.ч. для питания датчиков мониторинга окружающей среды.

Некоторые биологические закономерности микробного электрогенеза



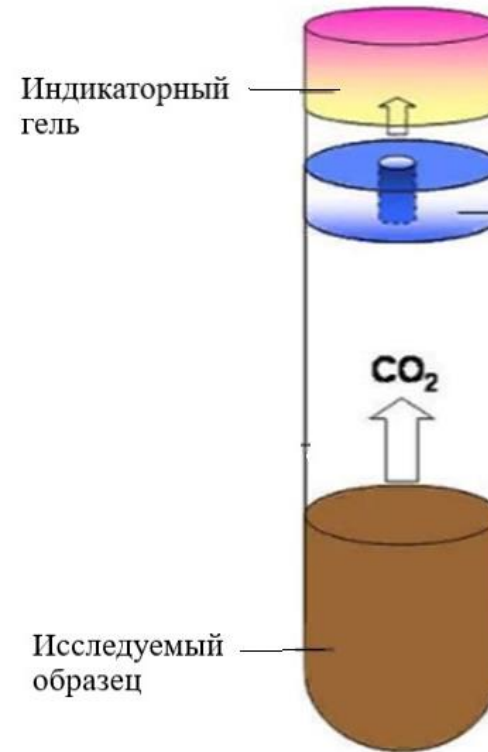
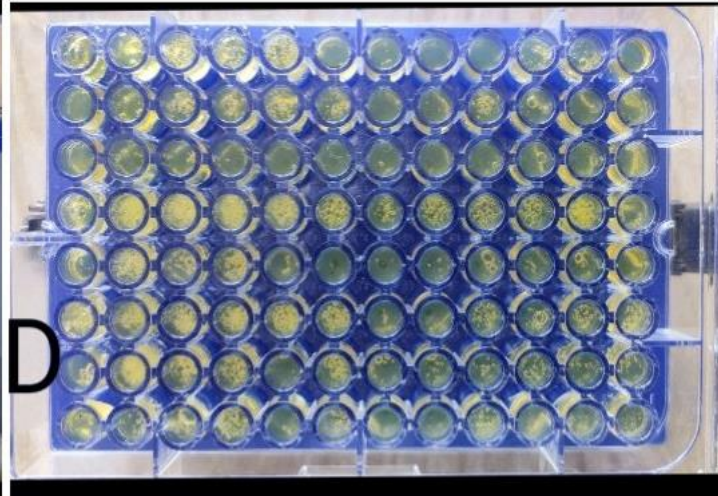
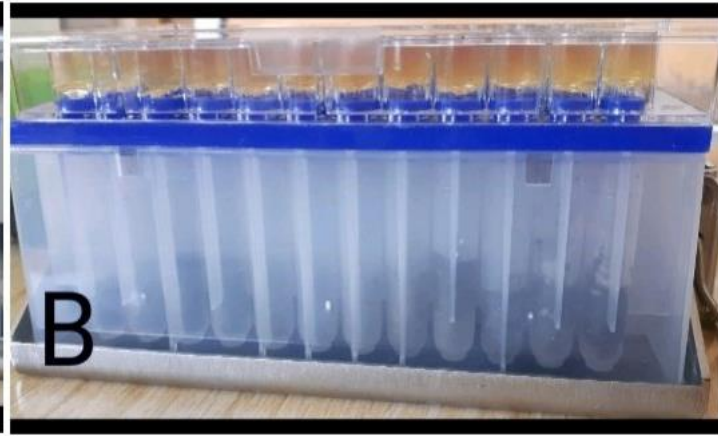
Соотношение электрического напряжения, создаваемого микробными топливными элементами и количества белка биоплёнок, смывых с биоанодов (прямой или медиаторный механизм транспорта электронов?)



Electron transfer mechanisms in biofilms

<https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-375-1.00003-4>

Сравнительная оценка дыхательной (по продукции углекислого газа) и электрогенной (как показатель “анодного дыхания”) активности бентосной микробиоты методом микроспепираторного тестирования (*MicroResp*)



<https://www.microresp.com/protocol>

Питательные вещества
Сахароза
D(+) мальтоза
L-метионин
Фруктоза
Глицин
L-изолейцин
L-гистидин
Цистеин
Яблочная к-та
Лимонная к-та
L-аспарагин
D(-) маннит
Глюкоза
L-лизин гидрохлорид
DL-лейцин
Лактат Ca
DL-глутаминовая кислота
D(+) ксилоза
Контроль
L-аргинин гидрохлорид
Пируват Na
Аскорбин к-та
Щавелевая к-та
Треонин
D(-) арабиноза
Ксантин

Средняя величина продукции углекислого газа в микрореспираторном тесте по 25 исследуемым углеродным субстратам

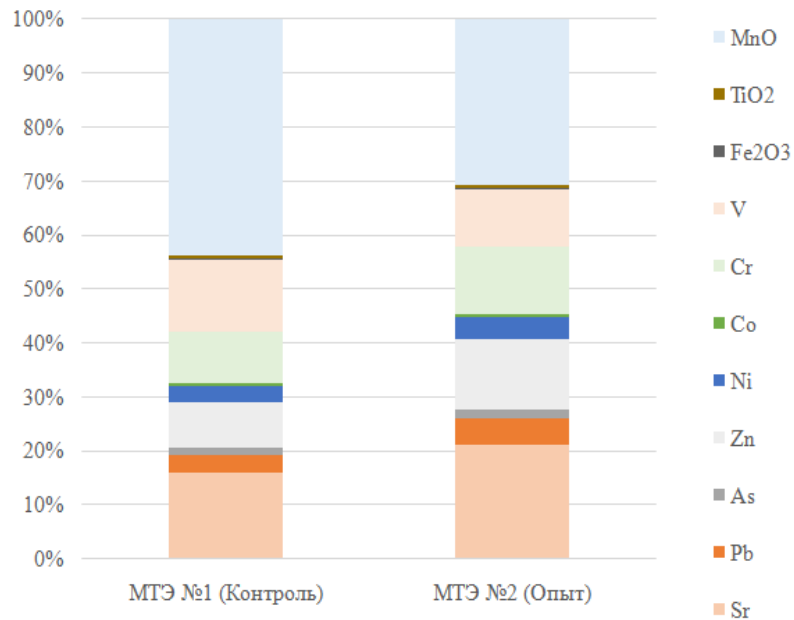


Тип образца	Средний уровень выделения CO ₂ (мкг/г×ч)	Электрическое напряжение (мВ)
Нативный ил	0,871 ± 0,15	606 ± 21
Высушенный ил	0,815 ± 0,27	507 ± 18
Песчано-ракушечный грунт	0,359 ± 0,13	253 ± 22

Таким образом электрогенная активность донного микробного сообщества может быть использована как показатель его метаболической активности, отличающийся возможностью автоматического непрерывного мониторинга с трансляцией данных в облачное хранилище.

Средняя величина продукции углекислого газа в микрореспираторном тесте по 25 исследуемым углеродным субстратам для образцов грунта из МТЭ биостанций “Запад” и “Восток”

Источник образца	Электрическое напряжение (мВ)	Продукция CO ₂ (мкг/г×ч)			
		верхняя проба	прианодная проба	нижняя проба	среднее значение
Нативный ил из МТЭ б/с “Запад”	606 ± 21	0,723 ± 0,19	1,247 ± 0,26	0,643 ± 0,16	0,871 ± 0,15
Нативный ил из МТЭ б/с “Восток”	200 ± 19	0,768 ± 0,18	0,552 ± 0,28	0,351 ± 0,06	0,557 ± 0,10

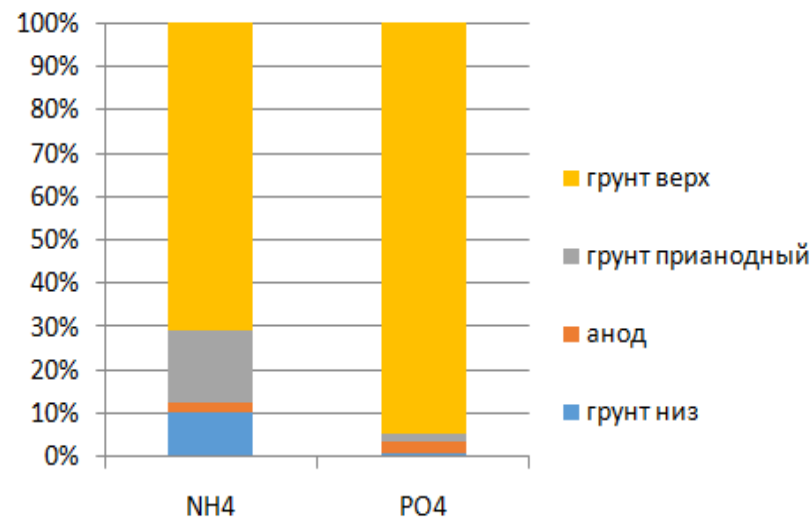


Показано, что в опытном варианте МТЭ №2 (83,39 мВ) суммарная концентрация ТМ в грунте была в 1,4 раза выше, чем в контрольном МТЭ №1 (0,92 мВ). Наибольшая разница концентраций наблюдалась для свинца, цинка, стронция, хрома, никеля.

Таким образом, в случае активных биоэлектрогенных процессов 6 тяжелых металлов более эффективно удерживались в слое донного грунта, в то время как в контрольном образце более низкая концентрация может быть связана с их вымыванием в водную среду.

Биоэлектрокинетические процессы влияния на ТМ в почвенной и донной средах считаются перспективными для новых подходов в биоремедиации окружающей среды
Qing Wu et al. Microbial fuel cell system: a promising technology for pollutant removal and environmental remediation // Environmental Science and Pollution Research V. 27, 2020

Нормированная диаграмма соотношения концентраций тяжёлых металлов в МТЭ



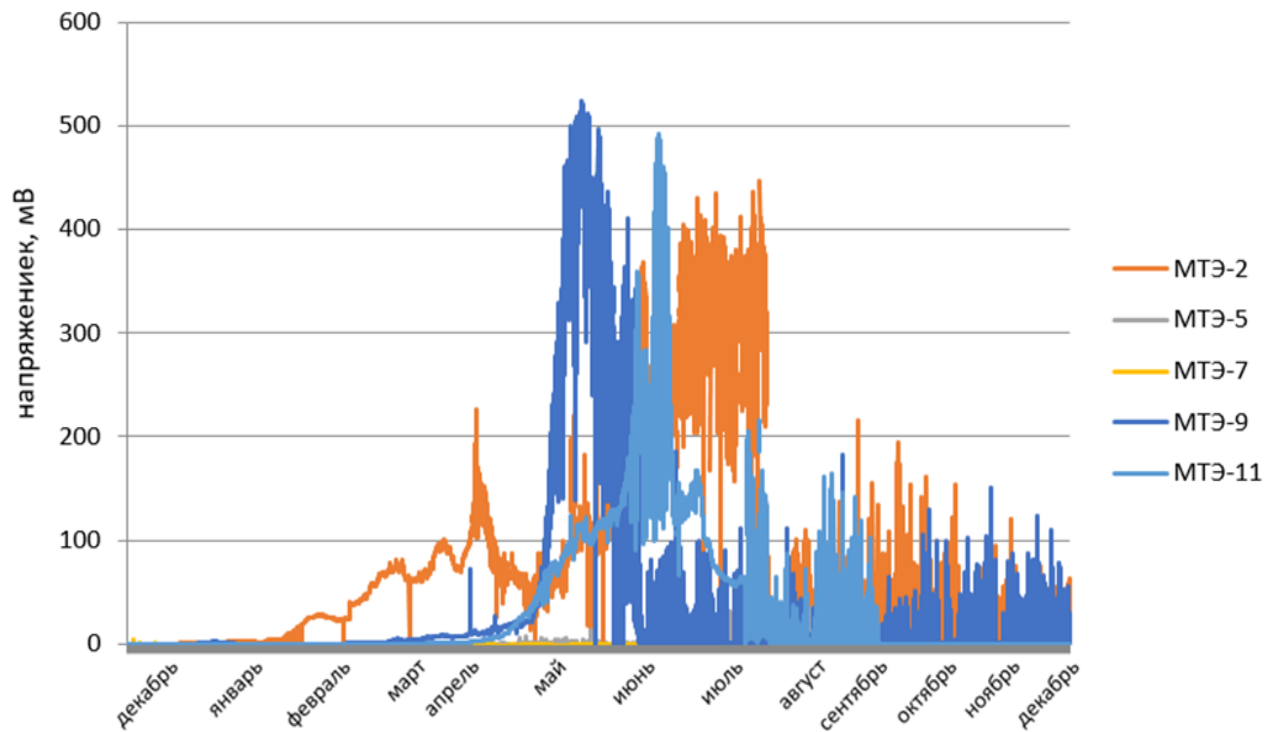
Нормированная диаграмма распределения ионов аммония и фосфата в различных частях МТЭ

Аммоний и фосфат количественно доминировали в верхней части толщи грунта, наиболее удаленной от биоанода. В прианодной зоне их количество было минимально, как и в самом углеродном материале анода. Пониженные содержания азота и фосфора могут свидетельствовать об их метаболизации анодофильной микрофлорой в качестве биогенных соединений.

Применение БЭС для удаления из среды N и P рассматривается как перспективное направление для очистки сточных вод, снижения эвтрофикации водоёмов, стимуляции окислительно-восстановительных процессов в донных осадках.

Wang X. et al. Realignment of phosphorus in lake sediment induced by sediment microbial fuel cells (SMFC) // Chemosphere. 2022. T. 291.

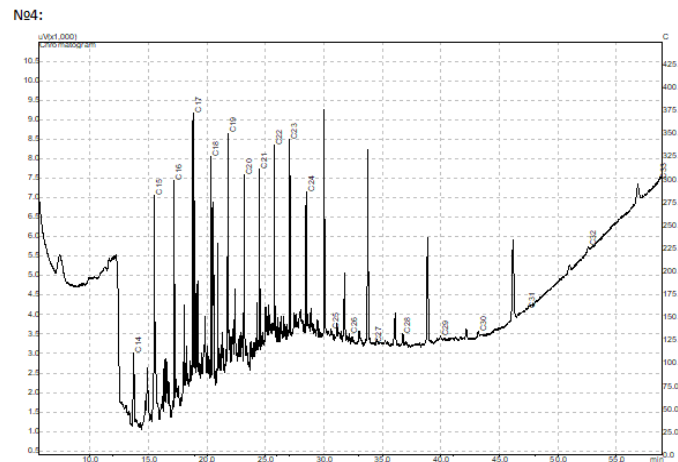
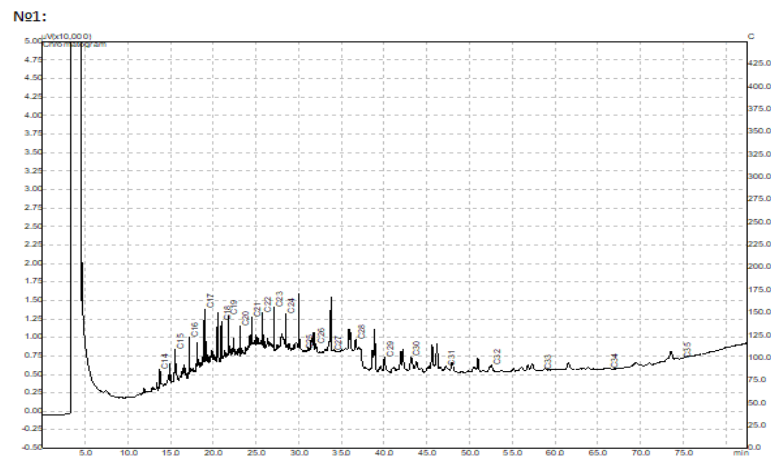
Ge X. et al. Bioenergy generation and simultaneous nitrate and phosphorus removal in a pyrite-based constructed wetland-microbial fuel cell // Bioresource technology. 2020. V.296.



Электрическое напряжение (мВ) создаваемое МТЭ в течение года

№ 2 - ил *без внесения дополнительных соединений*),

№5 - ил с добавлением *углеводородов*),



РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КРУГЛОГОДИЧНОГО МОНИТОРИНГА
ПАРАМЕТРОВ ВОДНОЙ СРЕДЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ
БЕНТОСНЫХ МИКРОБНЫХ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ© 2023 г. Н. Н. Волченко²*, А. А. Лазукин³, С. И. Масленников¹,
А. А. Пахлеванян¹, А. А. Самков², А. А. Худокормов²¹Национальный научный центр морской биологии имени А.В. Жирмунского ДВО РАН,
Владивосток, Россия²Кубанский государственный университет, Краснодар, Россия³Национальный исследовательский университет ИТМО, Санкт-Петербург, Россия

*e-mail: volchenko.n@mail.ru

Поступила в редакцию 27.12.22 г.

После доработки 27.03.23 г.

Принята к публикации 27.03.23 г.

С помощью микробных топливных элементов (МТЭ) бентосного (донного) типа и системы автоматического онлайн-мониторинга проведено исследование биоэлектротенной активности естественных природных микробных сообществ донных осадков залива Петра Великого Японского моря в круглогодичном эксперименте с параллельным мониторингом температуры, освещенности, электрической проводимости воды. Разработаны микробные топливные элементы бентосного типа, датчики мониторинга водной среды, системы сбора и передачи информации. Устройства способны создавать электрическое напряжение до 216 мВ и удельную мощность (по площади анода) до 239 мВт/м². Электрогенная активность природной микрофлоры зависит при температуре воды 20–25°C. Подобные устройства могут служить основой для автономных станций мониторинга состояния водной среды на протяжении длительного времени. Электрогенная активность донной микрофлоры потенциально может стать новым возобновляемым источником энергии для маломощной морской электроники, в том числе применяемой в марикультуре.

Ключевые слова: бентосный микробный топливный элемент, мониторинг водной среды, электрогенная активность микрофлоры, вещества-токсиканты

DOI: 10.31857/S0030157423060163, EDN: QVYZNQ

Интенсивное развитие марикультуры в прибрежных морских акваториях России [4] требует все более точных методов мониторинга морской среды. При этом основным методом получения данных является периодический отбор проб воды и донных осадков с последующим их анализом в береговых лабораториях или, реже, непосредственно на исследовательском судне [7]. Применяются и инструментальные методы дистанционного автоматизированного мониторинга – как правило для климатических параметров с помощью метеобуев [6]. При этом, если активность планктонных организмов можно оценить дистанционно стандартными методами, то интенсивность биологических процессов в донных осадках остается относительно малоисследованной в силу дефицита методов удаленного мониторинга. В то же время именно биогеохимические процессы на морском дне являются ключевыми в круговороте

органических и минеральных веществ биосферы. Бентосная микробиота способна к ассимиляции как естественных оседающих соединений, так и детоксикации антропогенных поллютантов, неизменно попадающих в морскую среду. Отдельный интерес представляет оценка ее жизнедеятельности в зонах с интенсивной марикультурой, создающей повышенную органическую нагрузку на местные экосистемы. Таким образом оценка ее активности является актуальной научной и прикладной задачей.

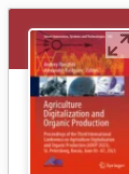
Другой, в большей степени инженерно-технической проблемой, является вопрос автоматизация мониторинга, а также энергообеспечения находящихся в водной среде устройств. Как правило в таких случаях применяются солнечные батареи, гальванические или радиоизотопные источники энергии. Наряду с ними в качестве потенциально перспективного направления рассматриваются

SPRINGER LINK

Find a journal

Publish with us

Q Search



International Conference on Agriculture Digitalization and Organic Production

↳ ADOP 2023: **Agriculture Digitalization and Organic Production** pp 397–407

Home > Agriculture Digitalization and Organic Production > Conference paper

Automated Coastal Monitoring of
Aquaculture Areas Using Microbial Fuel Cell
TechnologyAndrey Lazukin, Anton Saveliev✉, Konstantin Krestovnikov, Nikita Volchenko &
Sergey Maslennikov

Conference paper | First Online: 15 August 2023

Part of the Smart Innovation, Systems and Technologies book series (SIST, volume
362)

Abstract



Благодарности

Проект был бы невозможен без:
коллектива биостанции “Запад” ННЦМБ ДВО РАН, а также сотрудников - Л.А. Боцун, Т.А. Геворгян, Л.Н.Куличкова, А.Ю. Николенко, В.Н. Югай и др.

Помощь в осуществлении проекта:

- водолазная группа биостанции “Восток”
- лаборатория биофизики биостанции “Восток”

Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда (№ гос. регистрации 21-74-30004).

Спасибо за
внимание !

volchenko.n@mail.ru

+7 960 4720668

