

## ПРИМЕНЕНИЕ ЭКЗОЭЛЕКТРОГЕННЫХ БАКТЕРИЙ В НАНОКОМОЗИТНЫХ МАТЕРИАЛАХ

*Уразбаев Роман Серикович*

*курсант*

*Рябоконе Дарья Владимировна*

*старший преподаватель*

*ФГКВООУ ВО «Военная орденов Жукова и Ленина Краснознаменная академия связи имени Маршала Советского Союза С.М. Буденного»*

*г. Санкт-Петербург, Россия*

## APPLICATION OF EXO-ELECTROGENIC BACTERIA IN NANOCOMPOSITE MATERIALS

*Urazbayev Roman Serikovich*

*cadet*

*Ryabokon Darya Vladimirovna*

*Telecommunication academy named after S.M. Budienny,*

*St. Petersburg, Russia*

**Аннотация:** Существующие электронные устройства, представленные на рынке, состоят из неорганических, неживых материалов. Однако в будущем ожидается внедрение живых микроорганизмов в различного рода техники. В результате исследований ожидается получение такого материала, который будет способствовать культивированию экзоэлектрогенных бактерий и выводом полученного из них электричества к электроду с низкими потерями.

**Abstract:** Existing electronic devices on the market are composed of inorganic, inanimate materials. However, in the future, the introduction of live microorganisms in various kinds of technology is expected. As a result of research, it is expected to obtain such a material that will promote the cultivation of exoelectrogenic bacteria and the output of electricity obtained from them to the electrode with low losses.

**Ключевые слова:** микроорганизмы, нанотрубки, микробные топливные элементы, экзоэлектрогенные бактерии.

**Key words:** microorganisms, nanotubes, microbial fuel cells, exoelectrogenic bacteria.

Использование возобновляемых источников энергии приобрело большой интерес в последние годы, поскольку они сыграли ключевую роль в сокращении выбросов парниковых газов, сведении к минимуму зависимости от рынков ископаемого топлива, таких как нефть и газ. Среди наиболее распространенных возобновляемых источников энергии, таких как ветровая, солнечная, гидро- и геотермальная биомасса, возник большой интерес к разработке альтернативных «зеленых систем», способных сочетать производство энергии с биотехнологическими подходами к очистке воды, биоремедиации и зондированию [1, 2].

Микробные топливные элементы (MFCs) относятся к этому классу систем, находящихся на стыке энергетики и биотехнологий. Это биоэлектрохимические системы, которые успешно используются для объединения производства энергии с несколькими обработками благодаря большому потенциалу и универсальности целых экзоэлектрогенных микроорганизмов [3 <https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - B8-nanomaterials-11-03088].

Экзоэлектрогенные бактерии – это вид анаэробных микроорганизмов, которые приспособились жить в безвоздушной среде. Когда такая бактерия высвобождает атом кислорода, она получает положительный заряд.

В основном MFCs непосредственно преобразуют химическую энергию, содержащуюся в органическом веществе, известном как топливо, в электрическую энергию за счет метаболической активности экзоэлектрогенных микроорганизмов. Эти микроорганизмы, действительно, способны катализировать реакцию окисления топлива, производящую электрический ток, путем переноса полученных электронов на поверхность анода. Впоследствии электроны проходят через приложенную внешнюю нагрузку из анодного отсека в катодный, где концевой акцептор электронов, обычно кислород, затем восстанавливается [4 <https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - B9-nanomaterials-11-03088 <https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - B10-nanomaterials-11-03088]. В анодном отсеке этих устройств микроорганизмы размножаются в тесном контакте с поверхностью анода, обеспечивая, таким образом, образование биопленки,

что приводит к тому, что они играют ключевую роль в обеспечении преобразования энергии и процесса переноса электронов.

Кроме того, многие работы в литературе сосредоточили свое внимание на лучшем понимании сложности биопленок и их уникальных особенностей с основной целью создания синтетических, оптимизированных для различных биотехнологических применений. Чен и др. инкапсулировал предварительно выращенную живую электроактивную биопленку с гидрогелем из винилового спирта, продемонстрировав, что микроорганизмы сохранили неизменной свою биоэлектроактивность, более того, улучшив их стабильность также в щелочных условиях [5]. Санчес и др. инкапсулировал электроактивные бактерии *Shewanella Oneidensis* в нановолокна с сердцевинной и оболочкой, значительно улучшив конечную выходную мощность, содержащих эти биоаноды [6].

Идея использования микробов в топливных элементах известна давно. Самое сложное создать необходимую среду обитания. Обычно исходные материалы отмечались либо несовместимостью жизнедеятельности для бактерий или низкой токопроводимостью.

К ключевой проблеме так же можно отнести поиск высокоэффективного анодного материала. В идеале он должен обладать следующими свойствами: пористость (для поддержки бактериальной колонизации), прочность, высокая электропроводность. Анодная пористость имеет решающее значение для увеличения эффективной поверхности, доступной для роста колонии бактерий, тем самым улучшая перенос электронов на поверхность [7, 8<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B13-nanomaterials-11-03088](#)]. Поры анода из-за первоначального роста бактерий могут закупориваться, что ограничивает производительность топливных элементов. Один из вариантов решения данной проблемы был предложен группой ученых из Стэнфордского университета: для изготовления анодов были использованы углеродные нанотрубки с дырявым текстилем, изготовленным из случайно переплетенных полиэфирных волокон диаметром 20 мкм.

Основным отличием био-батареи от обычных аккумуляторов является необходимость связывать большое число бактерий с электродами для доставки электронов. До недавнего времени в проводящих материалах, в которые могут быть внедрены бактерии, проходящие в них процессы не поддавались контролю. Профессор Кристофа М. Нимейер с командой создали из углеродных нанотрубок и наночастиц кремнезема, переплетенных ДНК нитями, пористый гидрогель. Главным отличием взятых бактерий от остальных является то, что экзозелектрогенные бактерии колонизируют каркас, а все остальные остаются на поверхности матрицы. Полученный таким образом биогибридный композит долгое время мог оставаться стабильным и показывал электрохимическую активность в течение нескольких дней, что подтверждало способность передавать электроны через плазматические мембраны и биологические нанопроволоки к аноду.

Другим важным аспектом систем является их управляемость. Существенно улучшить ее позволило добавление фермента, разрезающего нити ДНК.

Однако, выходная электрическая мощность MFCs, как правило, остается низкой, и в настоящее время это препятствует товарности. По этой причине несколько работ в литературе сосредоточили свое внимание на оптимизации поверхности анода [7, 8<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B13-nanomaterials-11-03088](#)].

Действительно, поскольку выходная электрическая мощность строго коррелирует с электроактивностью этих бактерий, оптимизация анодного электрода и его интерфейса с бактериальной биопленкой играет ключевую роль в определении электрических характеристик устройств MFCs [5-8<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B13-nanomaterials-11-03088](#)<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B14-nanomaterials-11-03088](#)<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B15-nanomaterials-11-03088](#)<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B16-nanomaterials-11-03088](#)<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B17-nanomaterials-11-03088](#)<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B18-nanomaterials-11-03088](#)<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B19-nanomaterials-11-03088](#)<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B20-nanomaterials-11-03088](#)<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B21-nanomaterials-11-03088](#)<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B22-nanomaterials-11-03088](#)<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B23-nanomaterials-11-03088](#)<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B24-nanomaterials-11-03088](#)<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B25-nanomaterials-11-03088](#)<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B26-nanomaterials-11-03088](#)<https://www.mdpi.com/2079-4991/11/11/3088/htm> - [B27-nanomaterials-11-03088](#)].

Отметим, что возможные применения таких материалов могут выходить за рамки микробных биосенсоров, биореакторов и систем топливных элементов. Например, в 2014 году стал известен благодаря своей быстро заряжаемой (за 30 секунд) батарее для смартфона StoreDot. Секрет технологии заключен в некоем бионаноматериале. Популярность таких батарей нового поколения обещали к 2017 году, но прогноз оказался слишком оптимистичным. На данный момент специалисты работают над быстро заряжаемым аккумулятором для электромобиля.

#### Библиографический список:

1. Walsh, B.; Ciais, P.; Janssens, I.; Peñuelas, J.; Riahi, K.; Rydzak, F.; Van Vuuren, D.P.; Obersteiner, M. Pathways for balancing CO<sub>2</sub> emissions and sinks. 2017, 8, 1–12.
  2. Tommasi, T.; Salvador, G.P.; Quaglio, M. New insights in Microbial Fuel Cells: Novel solid phase anolyte. Sci. Rep. 2016, 6, 29091.
  3. Logan, B.E. Microbial Fuel Cells; John Wiley & Sons: New York, NY, USA, 2008.
  4. Chiodoni, A.; Salvador, G.P.; Massaglia, G.; Delmondo, L.; Munoz-Tabares, J.A.; Garino, N.; Castellino, M.; Margaria, V.; Ahmed, D.; Pirri, C.F.; et al. Int. J. Hydrogen Energy 2019, 44, 4432–4441. <https://translate.yandex.ru/>
  5. Chen, S.; Yang, F.; Li, C.; Zheng, S.; Zhang, H.; Li, M.; Yao, H.; Zhao, F.; Hou, H. Encapsulation of a living bioelectrode by a hydrogel for bioelectrochemical systems in alkaline media. J. Mater. Chem. B 2015, 3, 4641–4646.
  6. Sanchez, J.-L.; Laberty-Robert, C. A novel microbial fuel cell electrode design: Prototyping a self-standing one-step bacteria encapsulating bioanode with electrospinning. J. Mater. Chem. B 2021, 9, 4309. <https://translate.yandex.ru/>
  7. Mashkour, M.; Rahimnejad, M.; Bakeri, G.; Luque, R.; Oh, S.E. Application of Wet Nanostructured Bacterial Cellulose as a Novel Hydrogel Bioanode for Microbial Fuel Cells. ChemElectroChem 2017, 4, 648–654.
  8. Massaglia, G.; Margaria, V.; Fiorentin, M.R.; Pasha, K.; Sacco, A.; Castellino, M.; Chiodoni, A.; Bianco, S.; Pirri, F.C.; Quaglio, M. Nonwoven mats of N-doped carbon nanofibers as high-performing anodes in microbial fuel cells. Mater. Today Energy 2020, 16, 100385.
- © P.C. Уразбаев, Д.В. Рябоконт, 2022