

DOI: 10.25205/978-5-4437-1691-6-110

**ПАРАМЕТРЫ МИКРОБНОГО ТОПЛИВНОГО ЭЛЕМЕНТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ
МОДИФИЦИРОВАННОГО АНОДА НА ОСНОВЕ ОКСИДА ГРАФЕНА *****PARAMETERS OF MICROBIAL FUEL CELL USING MODIFIED ANODE BASED ON GRAPHENE OXIDE**

В. В. Федина, А. А. Ковалева, С. В. Алферов

Лаборатория экологической и медицинской биотехнологии, НИЦ «БиоХимТех» ТулГУ

V. V. Fedina, A. A. Kovaleva, S. V. Alferov

Laboratory of Ecological and Medical Biotechnology, SRC "BioChemTech" Tula State University

✉ agapovaweronica@yandex.ru

Аннотация

Биотопливные элементы — это активно развивающаяся технология, которая предполагает использование живых систем для производства электроэнергии. В данной работе применяли мембранные фракции бактерий *Gluconobacter oxydans* на электродах, модифицированных оксидом графена. Модификация графитового войлока приводит к увеличению его электрохимических свойств, благодаря которым ускоряется процесс переноса электронов между электродом и биокатализатором.

Abstract

Biofuel cells are an actively developing technology that involves the use of living systems to generate electricity. In this work, membrane fractions of *Gluconobacter oxydans* bacteria were applied on electrodes modified with graphene oxide. The modification of graphite felt leads to an increase in its electrochemical properties, due to which the process of electron transfer between the electrode and the biocatalyst is increased.

Микробные топливные элементы (МТЭ) — это устройства, в которых используют различные микроорганизмы в качестве биокатализаторов для выработки электрической энергии за счет окисления субстратов. Перенос электронов от биокатализатора к электродам считается одним из ключевых аспектов в МТЭ. Анодный перенос электронов в МТЭ является одним из этапов, ограничивающих скорость работы биотопливного элемента (БТЭ), поэтому подбор биокатализаторов и модификация электродов играет важную роль в переносе заряда [1].

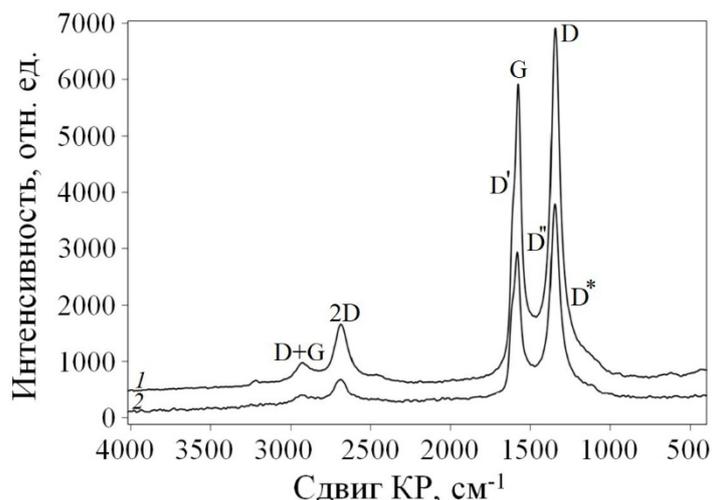
Грамотрицательные бактерии довольно широко изучены, их путь переноса электронов классифицируется как прямой (через мембраноассоциированные цитохромы или проводящие пили) или опосредованный (через окислительно-восстановительные медиаторы) [2]. В работе использовали ферментативные каскады бактерий *G. oxydans*. В их мембране находится комплекс ферментов, благодаря которым происходит окисление субстратов, что в результате приводит к производству электроэнергии. Для закрепления биокатализатора на поверхности электрода используют различные типы модификаций. В работе графитовый войлок (ГВ) модифицировали оксидом графена (ОГ) и восстановленным ОГ (ВОГ) [3].

ОГ — углеродный наноматериал, представляющий собой sp^2 -гибридизованные атомы углерода в виде гексагональной решетки с включениями sp^3 -гибридизованных атомов углерода, связанных с кислородсодержащими функциональными группами на базальной и краевой плоскостях [4]. Наличие в ОГ функциональных групп, обуславливает его кислотно-основные свойства, гидрофильность, диспергируемость в полярных растворителях и однородность распределения в полимерах. Это определяет перспективность применения ОГ для создания композитных материалов на основе полимерных матриц, электрохимических сенсоров и топливных элементов [5], а также в катализе [4]. Модификация ГВ такими материалами приводит к увеличению электрохимически активной площади поверхности, эффективному закреплению биокатализатора и к ускорению переноса электронов между биоматериалом и анодом.

В работе проводили оценку электродов, модифицированных разными способами, с помощью методов спектроскопии комбинационного рассеивания (СКР) (см. рисунок) и БТЭ.

КР-спектры ОГ (см. рисунок) содержат набор характеристических полос: G (1580 см^{-1}) свидетельствует о наличии sp^2 -гибридного углерода, D (1345 см^{-1}) характеризует структурные дефекты углеродной решетки

* Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования РФ в рамках государственного задания (№ FEWG-2024-0003).



КР-спектры: 1 — ВОГ, 2 — ОГ

(sp³-дефекты) ОГ. Полоса D», располагающаяся между полосами D и G, связана с аморфной фазой в ОГ. Восстановление кислородсодержащих групп ОГ приводит к снижению соотношения $S_{D'}/S_G$, свидетельствующее об уменьшении содержания аморфной фазы [6] с $0,4 \pm 0,1$ в ОГ до $0,27 \pm 0,07$ в ВОГ.

После оценки модифицированных электродов подготавливали макеты БТЭ. На ГВ наносили мембранные фракции бактерий *G. oxudans* и закрепляли электропроводящей матрицей на основе хитозана с углеродными нанотрубками. Результаты измерений приведены в таблице.

Параметры макетов БТЭ с модифицированными анодами

Параметры БТЭ	Анод на основе ОГ	Анод на основе ВОГ
E, мВ	90 ± 6	120 ± 6
R, кОм	3,5	6,3
$P_{\text{удел}} (*10^{-5}), \text{Вт/м}^2$	4,34	5,89

Примечание. E — генерируемый потенциал в режиме открытой цепи; R — внутреннее сопротивление ячейки БТЭ; $P_{\text{удел}}$ — удельная мощность БТЭ.

Работа БТЭ с модифицированным анодом ВОГ приводит к увеличению удельной мощности практически в 1,5 раза, что подтверждается методом СКР.

Литература

- Schröder U. Anodic electron transfer mechanisms in microbial fuel cells and their energy efficiency // Phys. Chem. Chem. Phys. 2007. Vol. 9 (21). P. 2619–2629.
- Liu X., Shi L., Gu J. D. Microbial electrocatalysis: redox mediators responsible for extracellular electron transfer // Biotechnol. Adv. 2018. Vol. 36 (7). P. 1815–1827.
- Gomaa O. M. et al. Characterization of a biosurfactant producing electroactive *Bacillus* sp. for enhanced Microbial Fuel Cell dye decolourisation // Enzym Microb. Technol. 2021. Vol. 147. P. 109767.
- Brisebois P. P., Siaj M. Harvesting graphene oxide—years 1859 to 2019: a review of its structure, synthesis, properties and exfoliation // J. Mater. Chem. C. 2020. T. 8 (5). P. 1517–1547.
- Javed R. M. N. et al. Recent developments in graphene and graphene oxide materials for polymer electrolyte membrane fuel cells applications // Renewable Sustainable Energy Rev. 2022. T. 168. P. 112836.
- De Silva K. K. H., Huang H. H., Yoshimura M. Progress of reduction of graphene oxide by ascorbic acid // Appl. Surf. Sci. 2018. Vol. 447. P. 338–346.