



УДК 620.95+628.316.12

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.28.17>

## **Микробиологический препарат «Доктор Робик 109» как биоагент для получения электрического тока в МТЭ при добавлении жиров**

О. С. Коркина<sup>1</sup>, Г. И. Сарапулова<sup>1</sup>, Г. О. Жданова<sup>2</sup>, Ю. О. Горбунова<sup>2</sup>,  
Е. А. Иванчиков<sup>4</sup>, Д. И. Стом<sup>1, 2, 3</sup>, В. Н. Бешков<sup>5</sup>

<sup>1</sup> *Иркутский национальный исследовательский технический университет, г. Иркутск, Россия*

<sup>2</sup> *Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия*

<sup>3</sup> *Байкальский музей ИИЦ СО РАН, пос. Листвянка, Россия*

<sup>4</sup> *Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, г. Улан-Удэ, Россия*

<sup>5</sup> *Институт инженерной химии БАН, г. София, Болгария*

*E-mail: stomd@mail.ru*

**Аннотация.** В работе экспериментально показана способность коммерческого микробного консорциума препарата «Доктор Робик 109» к генерированию электрического тока в микробных топливных элементах (МТЭ) при использовании в качестве субстратов жиров и жиросодержащих продуктов – маргарина, сала, подсолнечного масла. Эффективность работы МТЭ с препаратом «Доктор Робик 109» в качестве биоагента оценена на основании исследования динамики электрических показателей (напряжение разомкнутой цепи, сила тока в режиме короткого замыкания, расчётная мощность). Полученные материалы позволяют рекомендовать коммерческий комплексный препарат «Доктор Робик 109» для применения в технологии МТЭ с целью получения электричества в ходе очистки жиросодержащих сточных вод различных типов – коммунальных стоков, сточных вод животноводства, пищевой промышленности (жироперерабатывающие предприятия и т. д.).

**Ключевые слова:** микробные топливные элементы, генерирование электрического тока, «Доктор Робик 109», жиры.

**Для цитирования:** Микробиологический препарат «Доктор Робик 109» как биоагент для получения электрического тока в МТЭ при добавлении жиров / О. С. Коркина, Г. И. Сарапулова, Г. О. Жданова, Ю. О. Горбунова, Е. А. Иванчиков, Д. И. Стом, В. Н. Бешков // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2019. Т. 28. С. 17–25. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.28.17>

### **Введение**

Перспективным направлением современной электрохимии является сопряжение электрохимических процессов с биотехнологическими. Такой подход позволил разработать технологию получения электрической энергии путём переработки разнообразных отходов – технологию микробных топливных элементов (МТЭ). Определяющим компонентом этой технологии являются биологические агенты – микроорганизмы. Они отвечают за пре-

вращение энергии химических связей органических соединений в электрическую [The Microorganisms Used ... , 2018]. В связи с этим поиск перспективных микроорганизмов-биоагентов является важной задачей в данной области исследований.

Микробные ассоциации видятся более эффективными биоагентами в МТЭ, нежели отдельные штаммы. Они более устойчивы к стрессовым факторам среды и способны использовать большое число различных веществ в качестве субстратов, обладают более широким спектром специфичности. Такими консорциумами микроорганизмов, способными к активной деструкции различных отходов, являются коммерческие микробиологические препараты. Они, в частности, предназначены для очистки сточных вод, выгребных ям и септиков. Ряд подобных высокоэффективных препаратов выпускает ROEBIC Laboratories (США). Микробиологические препараты, выпускаемые по технологии компании, находят самое разнообразное применение и производятся не только в США, но и в других странах. При применении препарата Roebic Odor Eliminator показано снижение концентрации сероводорода в навозе сельскохозяйственных животных [Laboratory testing ... , 2001]. Продемонстрирована эффективность биопрепарата Roebic K-47 при очистке загрязнённой мазутом и дизельным топливом воды [Ignatavičius, Oškinis, 2007]. Добавление в систему биологической очистки сточных вод ферментного препарата Roebic стимулировало работу активного ила [Skaisgiriene, Vaitiekūnas, Zabukas, 2004].

Успешное применение этих препаратов позволяет предположить возможность и перспективность их использования в качестве биоагентов при переработке в МТЭ жиров. Проверка этого предположения явилась целью данной работы. Жиры входят в состав канализационных, хозяйственно-бытовых сточных вод и стоков многих предприятий пищевой промышленности. Поэтому в качестве субстратов – вероятных загрязнителей – были выбраны различные типы жиров (свиной жир, растительное масло) и жиродержащих продуктов (маргарин).

### ***Материалы и методы***

Конструкция используемых в работе МТЭ подробно описана ранее [Stom, Zhdanova, Kashevskii, 2017]. Электроды в установке изготовлены из углеродной ткани «Урал» (Светлогорскхимволокно, Беларусь). Размер электрода составлял 16×4 см.

Основной рабочей средой в МТЭ являлась стерильная модельная сточная вода следующего состава (мг/л): натрий углекислый – 50,0; калий фосфорно-кислый однозамещённый – 25,0; аммоний фосфорно-кислый двузамещённый – 25,0; кальций хлористый – 7,5; магний серно-кислый – 5,0 (ГОСТ Р 50595-1993). Стерилизацию модельной сточной воды проводили автоклавированием при 1 атм в течение 45 мин.

Перед началом работы обе камеры МТЭ стерилизовали 3%-ным раствором перекиси водорода в течение 20 мин. После этого каждую промыва-

ли стерильной водой, чтобы удалить остатки  $H_2O_2$ , и 15 мин. облучали ультрафиолетом. Далее с соблюдением правил асептики заполняли камеры МТЭ модельной сточной водой. Анодную камеру заливали целиком до верха, чтобы удалить воздух из камеры. Катодный отсек заполняли на 2–3 см ниже максимального уровня для возможности аэрирования католита. Через отверстия в верхней части МТЭ помещали электроды из углеродной ткани, которые фиксировали резиновыми пробками, плотно прилегающими к стенкам отверстий. Биоагент и субстраты вносили при помощи стерильного шприца через специальную резиновую заглушку в боковой части анодной камеры.

В качестве субстратов для исследуемых микробиологических препаратов использовали сало свиное, растительное масло торговой марки «Янта» (подсолнечное рафинированное дезодорированное, производитель ООО «Иркутский масложиркомбинат», г. Иркутск), маргарин («Домашний Янта», производитель тот же). Испытуемые жиры добавляли в анодный отсек МТЭ в количестве 1 мл/л.

Регистрацию напряжения проводили при помощи автоматической системы регистрации данных на основе микропроцессорной платы Arduino Mega 2560; силы тока – при помощи мультиметра DT-32 (CEM, Shenzhen Everbest Machinery Industry, Китай).

Все эксперименты проводили не менее чем в пяти независимых опытах с тремя параллельными измерениями в каждом. Статистическую обработку экспериментальных данных осуществляли с использованием программы Excel из пакета MS Office 2013. В результатах представлены средние величины для выборки и их стандартные отклонения. Выводы сделаны при вероятности безошибочного прогноза  $p \geq 0,95$ .

### ***Результаты и обсуждение***

В МТЭ с добавлением маргарина напряжение, генерируемое препаратом «Доктор Робик 109», возрастало за 6 сут. инкубирования до  $540 \pm 56$  мВ (рис. 1, А), сила тока – до  $880 \pm 126$   $\mu$ А (рис. 1, Б).

Расчётная мощность МТЭ, действующих на основе препарата «Доктор Робик 109», с добавлением в качестве субстрата маргарина к шестым суткам эксперимента достигала  $475 \pm 57$  мкВт (рис. 2).

При внесении в качестве субстрата свиного сала напряжение, генерируемое препаратом «Доктор Робик 109», возрастало за 3 сут. инкубирования до  $439 \pm 69$  мВ, за 6 сут. – до  $421 \pm 63$  мВ (рис. 3, А).

При изучении динамики силы тока в МТЭ, генерируемой препаратом «Доктор Робик 109», с использованием в качестве субстрата свиного жира электрические показатели на 3-и сут. возрастали до  $561 \pm 84$   $\mu$ А, на 5-е сут. – до  $800 \pm 120$   $\mu$ А (рис. 3, Б).

Мощность МТЭ, генерируемая препаратом «Доктор Робик 109», при добавлении свиного жира на 3-и сут. поднималась до  $246 \pm 37$ , на 5-е сутки достигала  $336 \pm 53$  мкВт (рис. 4).

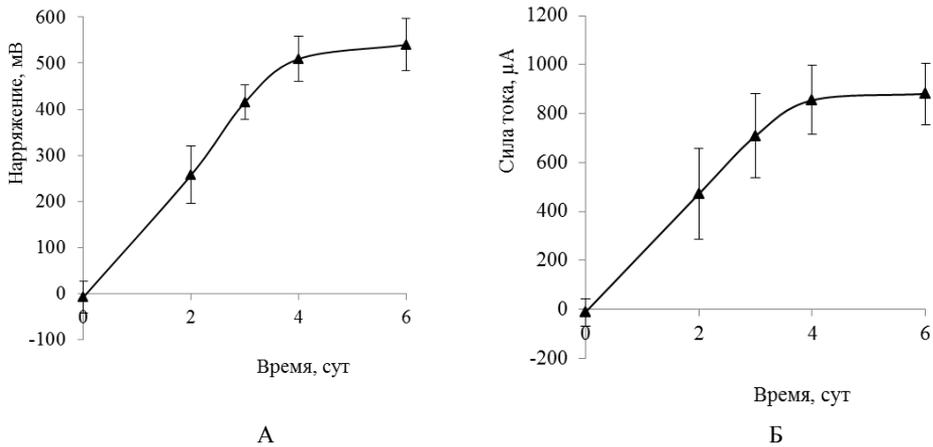


Рис. 1. Динамика напряжения (А) и силы тока (Б), генерируемого в МТЭ микробным препаратом «Доктор Робик 109», при использовании в качестве субстрата маргарина (1 мл/л) (среда – модельная сточная вода, электроды – углеродная ткань)

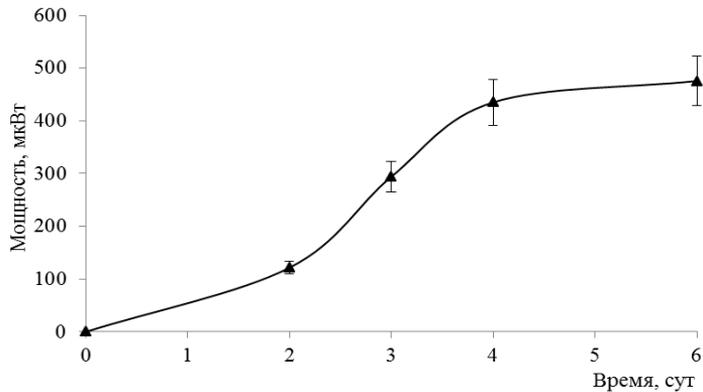


Рис. 2. Динамика мощности, генерируемой в МТЭ микробным препаратом «Доктор Робик 109», при использовании в качестве субстрата маргарина (1 мл/л) (среда – модельная сточная вода, электроды – углеродная ткань)

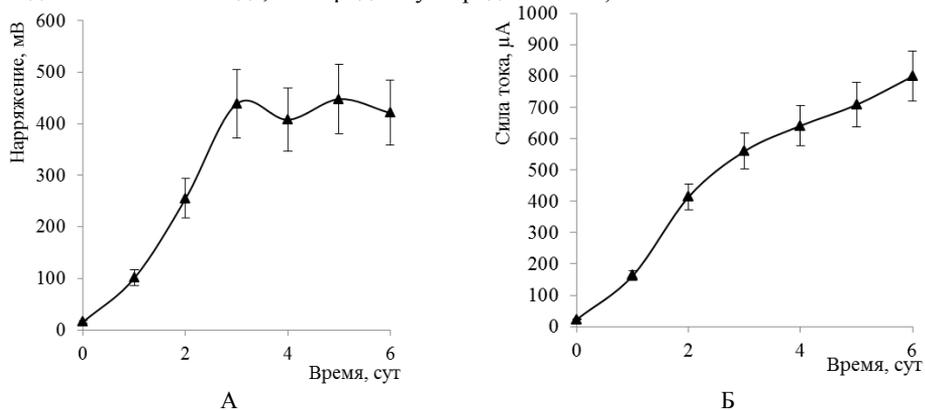


Рис. 3. Динамика напряжения (А) и силы тока (Б), генерируемого в МТЭ микробным препаратом «Доктор Робик 109», при использовании в качестве субстрата свиного жира (1 мл/л) (среда – модельная сточная вода, электроды – углеродная ткань)

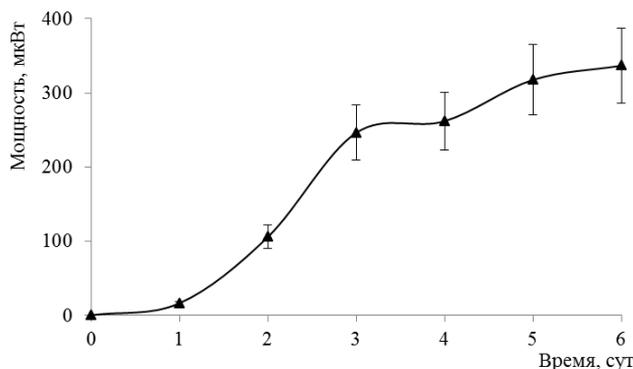


Рис. 4. Динамика мощности, генерируемой в МТЭ микробным препаратом «Доктор Робик 109», при использовании в качестве субстрата свиного жира (1 мл/л) (среда – модельная сточная вода, электроды – углеродная ткань)

В МТЭ с добавлением растительного масла напряжение, генерируемое препаратом «Доктор Робик 109», возросло за 6 сут. инкубирования до  $357 \pm 55$  мВ, за 14 сут. – до  $452 \pm 70$  мВ (рис. 5, А).

Схожая закономерность прослеживалась и при измерении силы тока в эксперименте. На 6-е сут. прирост силы тока составил  $457 \pm 69$   $\mu$ А, на 14-е –  $568 \pm 85$   $\mu$ А (рис. 5, Б).

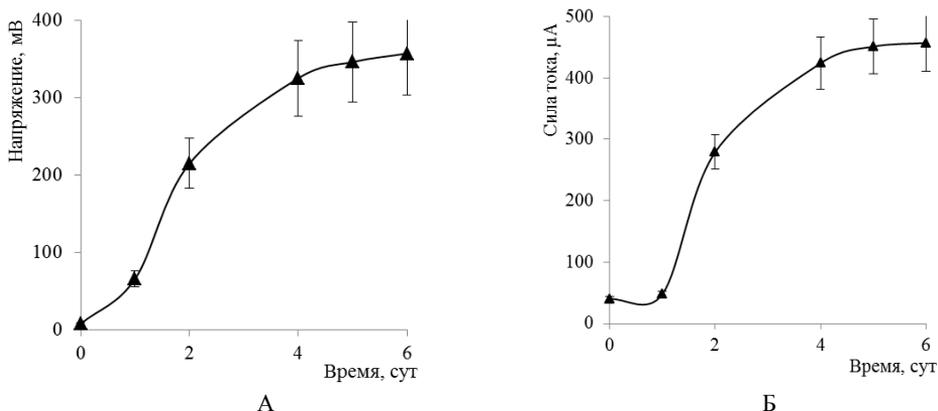


Рис. 5. Динамика напряжения (А) и силы тока (Б), генерируемого в МТЭ микробным препаратом «Доктор Робик 109», при использовании в качестве субстрата растительного масла (1 мл/л) (среда – модельная сточная вода, электроды – углеродная ткань)

Значения мощности МТЭ при добавлении растительного масла на 6-е сут. достигли  $163 \pm 25$  мкВт, на 14-е сут. поднимались до  $256 \pm 38$  мкВт (рис. 6).

Согласно результатам экспериментов микробиологический препарат «Доктор Робик 109», применяемый в экспериментальном реакторе МТЭ в качестве биоагента при обработке загрязнённой жирами и жиросодержащими компонентами модельной сточной воды, продемонстрировал наибольшую эффективность со свиным салом и маргарином в качестве субстратов. Наиболее низкой вырабатываемая в МТЭ мощность оказалась при использовании в качестве загрязнителя растительного масла.

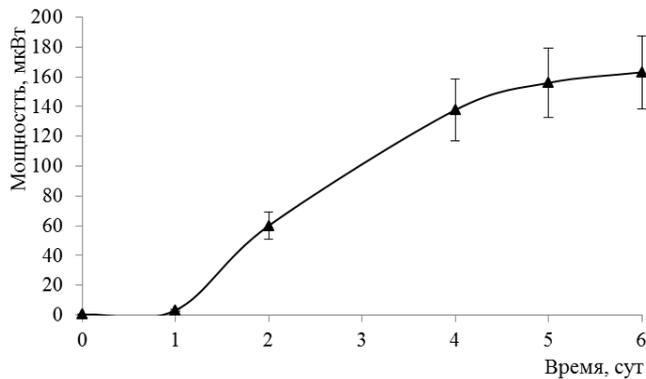


Рис. 6. Динамика мощности, генерируемой в МТЭ микробным препаратом «Доктор Робик 109», при использовании в качестве субстрата растительного масла (1 мл/л) (среда – модельная сточная вода, электроды – углеродная ткань)

### Заключение

В результате эксперимента показана способность микробного консорциума препарата «Доктор Робик 109» к генерированию в МТЭ электрического тока при использовании в качестве субстратов ряда жиров: маргарина, сала, подсолнечного масла. Столь обширный круг жиросодержащих субстратов, приемлемых для работы в МТЭ данного биоагента, позволяет рекомендовать применение препарата «Доктор Робик 109» в технологии МТЭ для получения электричества в ходе очистки многокомпонентных жиросодержащих сточных вод различных типов (коммунальных стоков, сточных вод животноводства, пищевой промышленности (жироперерабатывающие предприятия и т. д.).

*Авторы признательны Д. В. Белоус за участие в проведении экспериментов. Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ 18-48-030019 «Изучение взаимодействия отдельных штаммов и микробных ассоциаций, обладающих электрогенной активностью в МТЭ, с загрязнителями хозяйственно-бытовых сточных вод и разработка рекомендаций по интенсификации их очистки».*

### Список литературы

Ignatavičius G., Oškinis V. Investigation of black oil and diesel biodegradation in water // *Ekologija*. 2007. Vol. 53, N 4. P. 90–94.

Laboratory Testing of Commercial Manure Additives for Swine Odor Control / A. J. Heber, J. Ni, A. L. Sutton, J. A. Patterson, K. J. Fakhoury, D. T. Kelly, P. Shao // Final report for the USDA-ARS-NSRIC, Ames, IA. 2001. 198 p.

Skaisgiriene A., Vaitiekūnas P., Zabukas V. Influence of chlorides and sulphates on quality of biological waste water treatment using enzyme preparations // *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2004. Vol. 12, N 3. P. 91–95.

Stom D. I., Zhdanova G. O., Kashevskii A. V. New designs of biofuel cells and testing of their work // International Conference on Construction, Architecture and Technosphere Safety 2017 (ICCATS-2017), IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 262 (2017) 012219. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012219>

The Microorganisms Used For Working in Microbial Fuel Cells / E. Yu. Konovalova, D. I. Stom, G. O. Zhdanova, D. A. Yuriev, Li Y., Barbora L., Goswami P. // AIP Conf. Proc. 2018. Vol. 1952, Is. 1. <https://doi.org/10.1063/1.5031979>

## Microbiological Preparation "Doctor Roebic 109" as a Bioagent for Obtaining Electrical Current in MFC with the Addition of Fats

O. S. Korkina<sup>1</sup>, G. I. Sarapulova<sup>1</sup>, G. O. Zhdanova<sup>2</sup>, Yu. O. Gorbunova<sup>2</sup>, E. A. Ivanchikov<sup>4</sup>, D. I. Stom<sup>1,2,3</sup>, V. N. Beschkov<sup>5</sup>

<sup>1</sup>*Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russian Federation*

<sup>2</sup>*Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation*

<sup>3</sup>*Baikal Museum ISC SB RAS, Listvyanka, Russian Federation*

<sup>4</sup>*East-Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude, Russian Federation*

<sup>5</sup>*Institute of Chemical Engineering BAS, Sofia, Bulgaria*

**Abstract.** A promising area of modern electrochemistry is the combination of electrochemical processes with biotechnological. This approach allowed us to develop a technology for producing electric energy by processing a variety of waste – the technology of microbial fuel cells. The determining component of this technology are biological agents – microorganisms. They are responsible for converting the energy of chemical bonds of organic compounds into electrical energy. This article experimentally shows the ability of the commercial microbial consortium of the “Doctor Dr. Roebic 109” preparation to generate electric current in microbial fuel cells. Moreover, as a substrate for the microorganisms of “Dr. Roebic 109”, it is used as a substrate for fats and fat-containing products were used – margarine, lard and vegetable (sunflower) oil. The experiments were carried out in two-chamber structures of microbial fuel cells. They were made of plexiglass, and consisted of anaerobic anode and aerobic cathode chambers. The chambers were separated by a proton-exchange membrane MF-4SK. It is necessary for the transfer of protons from the anolyte to the catholyte during the operation of microbial fuel cells. The content of the anode was a model wastewater with the addition of 1 ml / l of the test fat or fat-containing product. Carbon tissue served as electrodes in microbial fuel cells. Based on the study of the dynamics of electrical parameters (open circuit voltage, short circuit current, rated power), a comparative assessment of the effectiveness of microbial fuel cells with the microbial preparation Dr. Roebic 109. The highest values of voltage and current were obtained when margarine was added to the anolyte as microbial fuel cells as a substrate for microorganisms – up to 540±56 mV and 880±126 μA, respectively. The power of microbial fuel cells (Dr. Roebic 109 preparation, substrate margarine), calculated on the basis of the obtained data, reached 475±57 μW for 6 days of the experiment. When studying the power of microbial fuel cells generated by Dr. Roebic 109 with the addition of lard, the studied parameter reached 336±53 μW, in a microbial fuel cell with vegetable oil – 163±25 μW. Thus, when modeling the contamination of model wastewater with the studied fats and fat-containing components, the most powerful microbiological preparation “Doctor Roebic 109” was produced in microbial fuel cells with pork fat and margarine. The introduction of vegetable oil as a substrate led to a less efficient operation of microbial fuel cells. The materials obtained make it possible to recommend the Dr. Roebic 109 commercial complex microbiological preparation for use in microbial fuel cell technology for generating electricity when treating various types of fat-containing wastewater – municipal wastewater, animal husbandry wastewater, wastewater from food processing enterprises (fat processing), etc.).

**Keywords:** microbial fuel cells, electric current generation, “Doctor Roebic 109” preparation, fats.

**For citation:** Korkina O.S., Sarapulova G.I., Zhdanova G.O., Gorbunova Yu.O., Ivanchikov E.A., Stom D.I., Beschkov V.N. Microbiological Preparation “Doctor Roebic 109” as a Bioagent for Obtaining Electrical Current in MFC with the Addition of Fats. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2019, vol. 28, pp. 17-25. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2019.28.17> (in Russian)

### References

Ignatavičius G., Oškinis V. Investigation of black oil and diesel biodegradation in water. *Ekologija*, 2007, vol. 53, no. 4, pp. 90-94.

Heber A.J., Ni J., Sutton A.L., Patterson J.A., Fakhoury K.J., Kelly D.T., Shao P. *Laboratory Testing of Commercial Manure Additives for Swine Odor Control. Final report for the USDA-ARS-NSRIC*, Ames, IA, 2001, 198 p.

Skaisgiriene A., Vaitiekūnas P., Zabukas V. Influence of chlorides and sulphates on quality of biological waste water treatment using enzyme preparations. *J. Environmental Engineering and Landscape Management*, 2004, vol. 12, no. 3, pp. 91-95.

Stom D.I., Zhdanova G.O., Kashevskii A.V. New designs of biofuel cells and testing of their work // *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 2017, 262, 012219. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/262/1/012219>

Konovalova E.Yu., Stom D.I., Zhdanova G.O., Yuriev D.A., Li Y., Barbora L., Goswami P. The Microorganisms Used For Working In Microbial Fuel Cells. *AIP Conf. Proc.*, 2018, vol. 1952, is. 1. <https://doi.org/10.1063/1.5031979>

*Коркина Ольга Сергеевна  
студент*

*Иркутский национальный исследовательский  
технический университет  
Россия, 664074, г. Иркутск,  
ул. Лермонтова, 83  
e-mail: olga.korkina.95@mail.ru*

*Korkina Ol'ga Sergeevna  
Student*

*Irkutsk National Research Technical University  
83, Lermontov st., Irkutsk, 664074, Russian  
Federation  
e-mail: olga.korkina.95@mail.ru*

*Сарапулова Галина Ибрагимовна  
доктор химических наук, профессор*

*Иркутский национальный исследовательский  
технический университет  
Россия, 664074, г. Иркутск,  
ул. Лермонтова, 83  
e-mail: sara131@mail.ru*

*Sarapulova Galina Ibrahimovna*

*Doctor of Sciences (Chemistry), Professor  
Irkutsk National Research Technical University  
83, Lermontov st., Irkutsk, 664074, Russian  
Federation  
e-mail: sara131@mail.ru*

*Жданова Галина Олеговна  
научный сотрудник*

*Иркутский государственный университет  
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 3  
e-mail: zhdanova86@yandex.ru*

*Zhdanova Galina Olegovna  
Research Scientist*

*Irkutsk State University  
3, Lenin st., Irkutsk, 664003, Russian Federation  
e-mail: zhdanova86@yandex.ru*

*Горбунова Юлия Олеговна  
лаборант-исследователь*

*Иркутский государственный университет  
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. Ленина, 3  
тел.: (3952) 34-34-37  
e-mail: iuliia\_gorbunova\_93@mail.ru*

*Gorbunova Yuliya Olegovna  
Research Assistant*

*Irkutsk State University  
3, Lenin st., Irkutsk, 664003, Russian Federation  
tel.: (3952) 34-34-37  
e-mail: iuliia\_gorbunova\_93@mail.ru*

*Иванчиков Егор Андреевич*  
аспирант  
Восточно-Сибирский государственный  
университет технологий и управления  
Россия, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ,  
ул. Ключевская, д. 40В, стр. 1  
e-mail: ivanchikov92@mail.ru

*Ivanchikov Egor Andreevich*  
Graduate Student  
East-Siberian State University of Technology  
and Management  
40B, build. 1, Klyuchevskaya st., Ulan-Ude,  
670013, Republic of Buryatia,  
Russian Federation  
e-mail: ivanchikov92@mail.ru

*Стом Дэвард Иосифович*  
доктор биологических наук, профессор,  
зав. лабораторией  
Иркутский государственный университет  
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
профессор  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет  
Россия, 664074, г. Иркутск,  
ул. Лермонтова, 83  
главный научный сотрудник  
Байкальский музей ИНИЦ СО РАН,  
Россия, 664520, пос. Листвянка,  
ул. Академическая, д. 1  
e-mail: stomd@mail.ru

*Stom Devard Iosifovich*  
Doctor of Sciences (Biology),  
Professor, Head of Laboratory  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,  
Russian Federation  
Professor  
Irkutsk National Research Technical University  
83, Lermontov st., Irkutsk, 664074, Russian  
Federation  
Chief Research Scientist  
Baikal Museum ISC SB RAS  
1, Akademicheskaya st., Listvyanka, 664520,  
Russian Federation  
e-mail: stomd@mail.ru

*Венко Николаев Бешков*  
доктор наук, профессор  
Институт инженерной химии  
Болгарской академии наук  
Болгария, София, 1113,  
ул. Академика Г. Бончева, блок 103  
e-mail: vbeschkov@yahoo.com

*Venko Nikolaev Beschkov*  
PhD, Professor  
Institute of Chemical Engineering BAS  
Block 103, Akademik G. Bonchev st., Sofia  
1113, Bulgaria  
e-mail: vbeschkov@yahoo.com

**Дата поступления:** 15.01.2019

**Received:** January, 15, 2019