



УДК 573.6+620.951

DOI <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.24.16>

## ***Clostridium acetobutylicum* как биоагент в биотопливных элементах**

Ю. О. Горбунова<sup>1</sup>, В. Ж. Цыренов<sup>2</sup>, Г. О. Жданова<sup>1</sup>, Д. И. Стом<sup>1,3,4</sup>,  
М. Э. Хрони<sup>4</sup>, М. Ю. Толстой<sup>4</sup>, И. А. Рябчикова<sup>4</sup>, В. А. Фиалков<sup>3</sup>,  
А. Б. Купчинский<sup>3</sup>, С. Гоел<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Иркутский государственный университет, Иркутск

<sup>2</sup> Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления, Улан-Удэ

<sup>3</sup> Байкальский музей ИИЦ СО РАН, Листвянка

<sup>4</sup> Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск

<sup>5</sup> Институт технологий и науки Бирла, Пилани, Индия

E-mail: [stomd@mail.ru](mailto:stomd@mail.ru)

**Аннотация.** Определена и сопоставлена мощность биотопливных элементов на основе бактерий *Clostridium acetobutylicum* штамма VKPM-B-4786. В работе использовали макет двухкамерного биотопливного элемента из оргстекла, состоящего из герметично закрывающейся анодной и аэробной катодной камер. Доступ к анолиту биотопливного элемента в ходе его непрерывной работы, без нарушения стерильности и анаэробности содержимого (для отбора проб и внесения субстратов и биоагентов), осуществляли через специальную резиновую заглушку в боковой части анодной камеры. В качестве электродов использовали углеродную ткань УРАЛ Т-22Р А (ОАО «СветлогорскХимволокно», Беларусь). Анолитом в биотопливных элементах служили картофельная среда, жидкая среда для кластридий [8], модельная сточная вода с добавлением различных субстратов и отходов (крахмал, пептон, глюкоза, целлюлоза, берёзовые опилки). Полученные экспериментальные данные позволили выстроить испытываемые среды с соответствующими субстратами в следующий ряд (по величине мощности, генерируемой на них *Cl. acetobutylicum*): жидкая среда для кластридий ( $10,4 \pm 1,2$  мкВт/см<sup>2</sup>) > картофельная среда ( $8,7 \pm 0,9$  мкВт/см<sup>2</sup>) > берёзовые опилки ( $6,2 \pm 0,7$  мкВт/см<sup>2</sup>) > целлюлоза ( $2,3 \pm 0,3$  мкВт/см<sup>2</sup>) > пептон ( $2,1 \pm 0,2$  мкВт/см<sup>2</sup>) > крахмал ( $1,1 \pm 0,1$  мкВт/см<sup>2</sup>) > глюкоза ( $0,3 \pm 0,09$  мкВт/см<sup>2</sup>). Генерирование электричества в биотопливных элементах сопровождалось приростом численности клеток *Cl. acetobutylicum*. Результаты опытов демонстрируют принципиальную возможность генерирования электричества в биотопливных элементах производственным штаммом *Cl. acetobutylicum* VKPM-B-4786 и позволяют рекомендовать использование этого штамма для получения электричества в технологии биотопливных элементов при утилизации отходов производства картофеля и переработки древесины.

**Ключевые слова:** биотопливные элементы, *Clostridium acetobutylicum*, электрогенная активность, биоагент.

**Для цитирования:** *Clostridium acetobutylicum* как биоагент в биотопливных элементах / Ю. О. Горбунова, В. Ж. Цыренов, Г. О. Жданова, Д. И. Стом, М. Э. Хрони, М. Ю. Толстой, И. А. Рябчикова, В. А. Фиалков, А. Б. Купчинский, С. Гоел // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2018. Т. 24. С. 16–24. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.24.16>

### **Введение**

Получение электричества в биотопливных элементах (БТЭ) основано на способности микроорганизмов трансформировать соединения и передавать высвобождающиеся в результате электроны на электрод. При этом важным условием является исключение доступа кислорода, поскольку в обычных условиях чаще всего именно он является акцептором электронов в реакциях микробного окисления вещества [Microbial fuel ... , 2006; Liu, Li, Yu, 2014]. В связи с этим биоагентами в БТЭ могут служить только анаэробные или факультативно анаэробные микроорганизмы.

Среди анаэробных микроорганизмов особенно высокой деструкционной активностью обладают бактерии рода *Clostridium*. Они широко используются в биотехнологии для переработки различных отходов [Oil palm ... , 2012; Biological butanol ... , 2015; Paper mill ... , 2018].

Целью данной работы явилось изучение электрогенной активности штамма *Clostridium acetobutylicum* VKPM-B-4786 в биотопливных элементах.

### **Материалы и методы**

В качестве объекта исследований использовали бактерии *Cl. acetobutylicum* штамма VKPM-B-4786. Штамм способен сбраживать широкий круг углеводов (глюкозу, галактозу, маннозу, фруктозу, ксилозу, арабинозу, лактозу, сахарозу, мальтозу, крахмал), в качестве источника азота использует пептон и аммонийные соединения [Внеклеточная гликозилгидролазная ... , 2008].

Испытуемыми средами в работе являлись:

1. Жидкая среда для культивирования клостридий (г/л):  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 0,7;  $\text{K}_2\text{HPO}_4$  – 0,7;  $\text{MgSO}_4 \times 7\text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{MnSO}_4$  – 0,1;  $\text{FeSO}_4$  – 0,015;  $\text{NaCl}$  – 0,01; ацетат аммония – 3; пептон – 1; дрожжевой экстракт – 1; глюкоза – 20; цистеин – 0,5. Стерилизацию проводили автоклавированием при 1 атм. в течение 45 мин.

2. Картофельная среда (г/л): картофель – 200,0; глюкоза – 5,0;  $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$  – 1,5;  $\text{CaCO}_3$  – 2,0. Стерилизовали автоклавированием при 1 атм. в течение 30 мин.

3–7. Модельная сточная вода (мг/л):  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  – 50,0;  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 25,0;  $\text{CaCl}_2$  – 7,5;  $\text{MgSO}_4$  – 5,0. Стерилизовали автоклавированием при 1 атм. в течение 45 мин. В качестве субстратов добавляли крахмал, глюкозу, целлюлозу, пептон, берёзовые опилки в концентрации 1 г/л.

Накопление биомассы перед экспериментами осуществляли на агаризованной среде 1 в течение двух суток.

Электрогенную активность штамма изучали в БТЭ, конструкция которых представлена на рис. 1. Они состояли из двух камер из оргстекла, сообщение между которыми осуществлялось через протонообменную мембрану МФ-4СК (ЗАО «Пластполимер», Россия). Анодная камера БТЭ имеет верхнее отверстие для размещения электрода, а также боковое отверстие, плотно закрытое резиновой заглушкой – для отбора проб или внесения субстратов/биоагентов в ходе работы БТЭ. В верхней части катодной камеры име-

ется отверстие для размещения электрода, а также дополнительное отверстие для аэрирования католита. В анодную камеру помещали испытуемую среду, анодный электрод и биоагент *Cl. acetobutylicum* (в виде суспензии,  $\sim 10^5$ – $10^6$  КОЕ/мл). Анолит продували аргоном, после чего камеру плотно закупоривали. В катодную камеру помещали модельную сточную воду и катодный электрод. В течение эксперимента католит аэрировали при помощи лабораторных двухканальных компрессоров D-044 (Dezzie, Китай).

Электродами служила углеродная ткань УРАЛ Т-22Р А (ОАО «СветлогорскХимволокно», Беларусь), нарезанная на полоски размером 16×4 см.

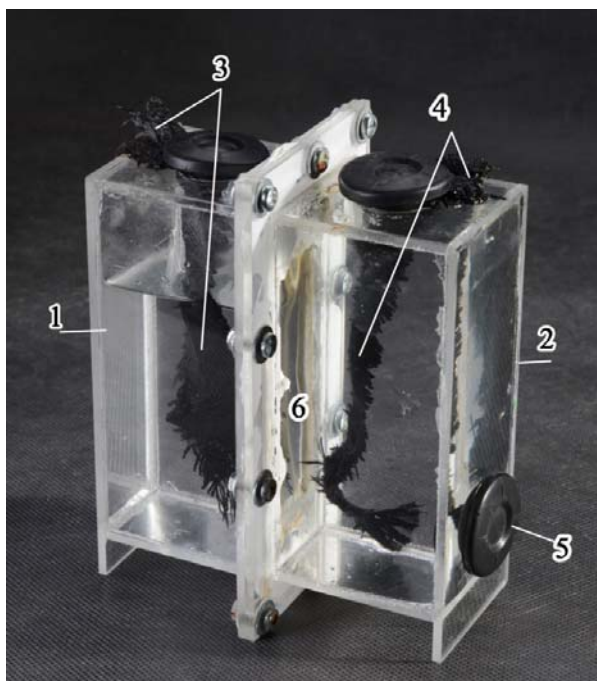


Рис. 1. Макет биотопливного элемента. 1 – катодная камера, 2 – анодная камера; 3 – катодный электрод из углеродной ткани; 4 – анодный электрод из углеродной ткани; 5 – заглушка из полипропиленовой резины для отбора проб анолита; 6 – протонообменная мембрана МФ-4СК. По: [Биоэлектрохимический элемент, 2016]

Регистрацию силы тока в БТЭ осуществляли мультиметром DT-266 («Ресанта», Россия). Напряжение измеряли при помощи автоматической системы регистрации данных на основе микропроцессорной платы Arduino Mega 2560 [Active sludge ... , 2017].

Численность клеток *Cl. acetobutylicum* в БТЭ определяли методом Коха [Methods in ..., 1990; Spiegelman, Whissell, Greer, 2005]. Отбор проб анолита БТЭ для микробиологического анализа осуществляли при помощи стерильного шприца через боковую заглушку анодной камеры. Это позволяло исследовать динамику количества клеток в ходе эксперимента без прерывания работы БТЭ и нарушения стерильности и анаэробности анодной камеры.

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

Определение мощности, генерируемой *Cl. acetobutylicum* VKPM-B-4786 в БТЭ за 48 ч культивирования на различных питательных средах, показало, что штамм в различной степени использовал все указанные среды. Наибольшую мощность БТЭ вырабатывал на основе *Cl. acetobutylicum* VKPM-B-4786 и жидкой среды для клостридий:  $10,4 \pm 1,2$  мкВт/см<sup>2</sup> за 48 ч эксперимента. Использование картофельной среды позволило получить за аналогичный временной период  $8,7 \pm 0,9$  мкВт/см<sup>2</sup>. На берёзовых опилках мощность за 48 ч инкубирования составила  $6,2 \pm 0,7$  мкВт/см<sup>2</sup>. При утилизации культурой *Cl. acetobutylicum* VKPM-B-4786 целлюлозы и пептона мощность за 48 ч культивирования составила  $2,3 \pm 0,3$  и  $2,1 \pm 0,2$  мкВт/см<sup>2</sup>, соответственно. На крахмале и глюкозе мощность в БТЭ достигла  $1,1 \pm 0,1$  и  $0,3 \pm 0,09$  мкВт/см<sup>2</sup> соответственно (рис. 2).

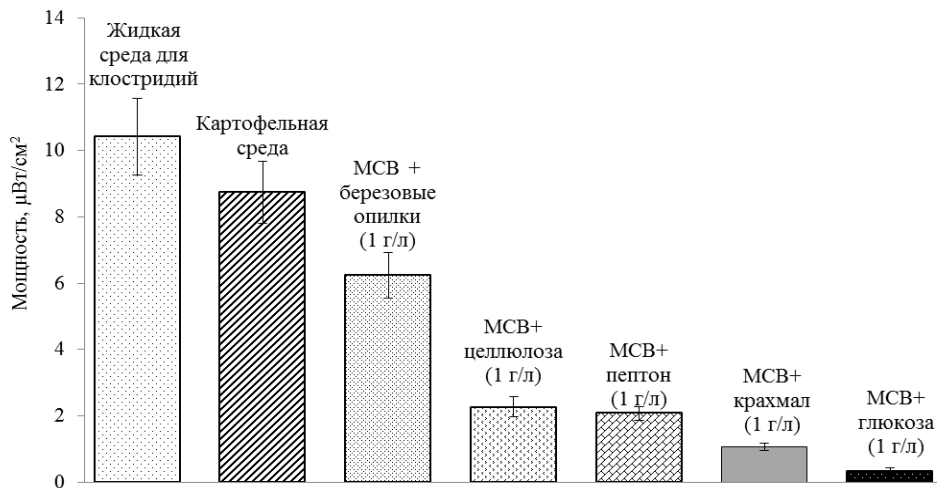


Рис. 2. Мощность БТЭ на основе *Cl. acetobutylicum* VKPM-B-4786 при использовании в качестве анолита различных сред

Процесс генерирования клостридиями электричества в БТЭ сопровождался приростом численности их клеток. При этом наиболее интенсивный рост наблюдался на картофельной среде (с  $(2,3 \pm 0,6) \cdot 10^7$  до  $(6,8 \pm 0,2) \cdot 10^8$  КОЕ/мл за двое суток инкубирования). В модельной сточной воде с крахмалом численность клеток за двое суток увеличилась с  $(3,2 \pm 1,3) \cdot 10^6$  до  $(4,3 \pm 0,4) \cdot 10^7$  КОЕ/мл. На жидкой среде, рекомендованной для культивирования клостридий, титр жизнеспособных клеток за двое суток инкубирования

ния изменился с  $(2,9 \pm 0,1) \cdot 10^6$  до  $(2,0 \pm 0,4) \cdot 10^8$  КОЕ/мл. Что касается использования пептона культурой *Cl. acetobutylicum* VKPM-B-4786, то за двое суток инкубирования отмечали прирост биомассы с  $(3,5 \pm 0,7) \cdot 10^5$  до  $(6,1 \pm 1,0) \cdot 10^7$  КОЕ/мл. В модельной сточной воде с берёзовыми опилками прирост биомассы заметно увеличился за двое суток инкубирования с  $(1,8 \pm 0,8) \cdot 10^6$  до  $(6,1 \pm 1,2) \cdot 10^6$  КОЕ/мл. При культивировании штамма *Cl. acetobutylicum* VKPM-B-4786, когда в качестве среды брали модельную сточную воду с добавлением глюкозы, количество жизнеспособных клеток увеличилось за двое суток инкубирования с  $(4,5 \pm 0,6) \cdot 10^5$  до  $(5,4 \pm 1,0) \cdot 10^6$  КОЕ/мл. Численность жизнеспособных клеток на модельной сточной воде с целлюлозой за двое суток культивирования изменилась с  $(3,1 \pm 1,1) \cdot 10^6$  до  $(4,9 \pm 0,4) \cdot 10^7$  КОЕ/мл.

Полученные экспериментальные данные позволили выстроить испытываемые среды в следующий ряд (по величине мощности, генерируемой на них *Cl. acetobutylicum*): жидкая среда для клостридий ( $10,4 \pm 1,2$  мкВт/см<sup>2</sup>) > картофельная среда ( $8,7 \pm 0,9$  мкВт/см<sup>2</sup>) > берёзовые опилки ( $6,2 \pm 0,7$  мкВт/см<sup>2</sup>) > целлюлоза ( $2,3 \pm 0,3$  мкВт/см<sup>2</sup>) > пептон ( $2,1 \pm 0,2$  мкВт/см<sup>2</sup>) > крахмал ( $1,1 \pm 0,1$  мкВт/см<sup>2</sup>) > глюкоза ( $0,3 \pm 0,09$  мкВт/см<sup>2</sup>).

### Заключение

Таким образом, показана принципиальная возможность генерирования электричества в БТЭ штаммом *Cl. acetobutylicum* VKPM-B-4786. Генерирование электричества в БТЭ сопровождалось приростом численности клеток *Cl. acetobutylicum*. Следует особо отметить, что в качестве субстратов могут выступать отходы сельскохозяйственного производства и лесопереработки – берёзовые опилки, некондиционный картофель.

Полученные результаты позволяют рекомендовать использование производственного штамма *Cl. acetobutylicum* VKPM-B-4786 для получения электричества в БТЭ при утилизации отходов производства картофеля и переработки древесины.

*Работа выполнена при финансовой поддержке проекта РФФИ 18-48-030019.*

### Список литературы

Биоэлектрохимический элемент / А. Ф. Лашин, Н. Д. Борохоев, М. С. Красавцева, Д. И. Стом, Г. О. Жданова, М. Ю. Толстой // Заявка № 2016127167(042524) от 05.07.2016. Патент (полезная модель) РФ № 170868 от 26.12.2016.

Внеклеточная гликозилгидролазная активность клостридий, образующих ацетон, бутанол и этанол / О. В. Березина, С. П. Синеокий, Г. А. Великодворская, В. Шварц, В. В. Зверлов // Прикладная биохимия и микробиология. 2008. Т. 44, С. 49–55.

Active sludge and strains isolated from it as bioagents in biofuel cells / D. I. Stom, E. Yu. Konovalova, G. O. Zhdanova, M. Yu. Tolstoy, O. F. Vyatchina // SGEM2017 Conf. Proc. 2017. Vol. 17, N 42. P. 19–26. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/42/S17.003>

Biological butanol production from microalgae-based biodiesel residues by *Clostridium acetobutylicum* / H.-H. Cheng, L.-M. Whang, K.-C. Chan, M.-C. Chung, S.-H. Wu, C.-P. Liu, S.-Y. Tien, S.-Y. Chen, J.-S. Chang, W.-J. Lee // Bioresource Technology. 2015. Vol. 184. P. 379–385.

Liu X. W., Li W. W., Yu H. Q. Cathodic catalysts in bioelectrochemical systems for energy recovery from wastewater // Chem. Soc. Rev. 2014. Vol. 43. P. 7718–7745.

Methods in Microbiology / R. Grigorova, J. R. Norris (eds.). 1990. Vol. 22. 618 p.

Microbial fuel cells: methodology and technology / B. E. Logan, P. Aelterman, B. Hamelers, R. Rozendal, U. Schröer, J. Keller, S. Freguia, W. Verstraete, K. Rabaey // Environ. Sci. Technol. 2006. Vol. 40, P. 5181–5192.

Oil palm empty fruit bunch as alternative substrate for acetone-butanol-ethanol production by *Clostridium butyricum* EB6 / M. F. Ibrahim, S. Abd-Aziz, M. N. Razak, L. Y. Phang, M. A. Hassan // Appl. Biochem. Biotechnol. 2012. Vol. 166. P. 1615–1625.

Paper mill sludge as a renewable substrate for the production of acetone-butanol-ethanol using *Clostridium sporogenes* NCIM 2337 / H. Gogoi, V. Nirosha, A. Jayakumar, K. Prabhu, M. Maitra, R. Panjanathan // Energy Sources Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects. 2018. Vol. 40, N 1. P. 39–44. <https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1405107>

Spiegelman D., Whissell G., Greer C. W. A survey of the methods for the characterization of microbial consortia and communities. Can. J. Microbiol. 2005. Vol. 51, P. 355–386.

## *Clostridium acetobutylicum* as a Bioagent in Biofuel Cells

Yu. O. Gorbunova<sup>1</sup>, V. Zh. Tsyrenov<sup>2</sup>, G. O. Zhdanova<sup>1</sup>, D. I. Stom<sup>1,3,4</sup>,  
M. E. Chroni<sup>4</sup>, M. Yu. Tolstoy<sup>4</sup>, I. A. Ryabchikova<sup>4</sup>, V. A. Fialkov<sup>3</sup>,  
A. B. Kupchinskiy<sup>3</sup>, S. Goel<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Irkutsk State University, Irkutsk

<sup>2</sup>East-Siberian State University of Technology and Management, Ulan-Ude

<sup>3</sup>Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk

<sup>4</sup>Baikal Museum of the INC SB RAS, Listvyanka

<sup>5</sup>BITS-Pilani, Hyderabad Campus, Hyderabad, India

**Abstract.** The capacity of biofuel elements based on *Clostridium acetobutylicum* strain VKPM-B-4786 was determined and compared. A model of a two-chamber biofuel element made of plexiglas consisting of a hermetically sealed anodic and aerobic cathode chamber was used in the work. Access to the anolyte biofuel element during its continuous operation, without compromising sterility and anaerobic content (for sampling and depositing substrates and bioagents) was carried out through a special rubber plug in the side of the anode chamber. Carbon fabric URAL T-22P A (OJSC «Svetlogorsk Khimvolokno», Belarus) was used as electrodes. The anolyte in biofuel elements was a potato medium, a liquid medium for clostridium [8], model wastewater with the addition of various substrates and wastes (starch, peptone, glucose, cellulose, birch sawdust). The obtained experimental data made it possible to align the test media with the corresponding substrates in the next row (in terms of the power generated by *Cl. acetobutylicum*): a liquid medium for clostridium ( $10.4 \pm 1.2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) > potato medium ( $8.7 \pm 0.9 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) > birch sawdust ( $6.2 \pm 0.7 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) > cellulose ( $2.3 \pm 0.3 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) > peptone ( $2.1 \pm 0.2 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ ) > starch ( $1.1 \pm 0.1 \text{mW}/\text{cm}^2$ ) > glucose ( $0.3 \pm 0.09 \text{mW}/\text{cm}^2$ ). Generation of electricity in biofuel cells was accompanied by an increase in the number of cells *Cl. acetobutylicum*. The results of the experiments demonstrate the fundamental possibility of generating electricity in biofuel cells by the production strain *Cl. acetobutylicum* VKPM-B-4786 and allow us to recommend the use of this strain for producing electricity in biofuel technology when recycling potato waste and processing wood.

**Keywords:** biofuel cells (BFC), *Clostridium acetobutylicum*, electricity, bioagent

**For citation:** Gorbunova Yu.O., Tsyrenov V.Zh., Zhdanova G.O., Stom D.I., Chroni M.E., Tolstoy M.Yu., Ryabchikova I.A., Fialkov V.A., Kupchinskiy A.B., Goel S. *Clostridium acetobutylicum* as a Bioagent in Biofuel Cells. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2018, vol. 24, pp. 16–24. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2018.24.16> (in Russian)

## References

- Lashin A.F., Borokhoeff N.D., Krasavtseva M.S., Stom D.I., Zhdanova G.O., Tolstoy M.Yu. *Bioelektrokhimicheskii element* [Bioelectrochemical element] Patent (poleznaya model') RF № 170868 ot 05.07.2016. [RF patent for utility model No. 170868 dd. 05.07.2016.] (in Russian)
- Berezina O.V., Sineokii S.P., Velikodvorskaya G.A., Shvarts B., Zverlov V.V. Vnekletchnaya glikozilgidrolaznaya aktivnost' klostridii, obrazuyushchikh atseton, butanol i etanol [Extracellular glycosyl hydrolase activity of clostridia forming acetone, butanol and ethanol], *Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya* [Applied Biochemistry and Microbiology], 2008, vol. 44, pp. 49–55. (in Russian)
- Stom D.I., Konovalova E.Yu., Zhdanova G.O., Tolstoy M.Yu., Vyatchina O.F. Active sludge and strains isolated from it as bioagents in biofuel cells. *SGEM 2017 Conf. Proc.*, 2017, vol. 17, no. 42, pp. 19–26. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/42/S17.003>
- Cheng H.-H., Whang L.-M., Chan K.-C., Chung M.-C., Wu S.-H., Liu C.-P., Tien S.-Y., Chen S.-Y., Chang J.-S., Lee W.-J. Biological butanol production from microalgae-based biodiesel residues by *Clostridium acetobutylicum*. *Bioresource Technology*, 2015, vol. 184, pp. 379–385.
- Liu X.W., Li W.W., Yu H.Q. Cathodic catalysts in bioelectrochemical systems for energy recovery from wastewater. *Chem. Soc. Rev.*, 2014, vol. 43, pp. 7718–7745.
- Grigorova R., Norris J. R. (eds.). *Methods in Microbiology*. 1990, vol. 22, 618 p.
- Logan B.E., Aelterman P., Hamelers B., Rozendal R., Schröer U., Keller J., Freguia S., Verstraete W., Rabaey K. Microbial fuel cells: methodology and technology. *Environ. Sci. Technol.*, 2006, vol. 40, pp. 5181–5192.
- Ibrahim M.F., Abd-Aziz S., Razak M.N., Phang L.Y., Hassan M.A. Oil palm empty fruit bunch as alternative substrate for acetone-butanol-ethanol production by *Clostridium butyricum* EB6. *Appl. Biochem. Biotechnol.*, 2012, vol. 166, pp. 1615–1625.
- Gogoi H., Nirosha V., Jayakumar A., Prabhu K., Maitra M., Panjanathan R. Paper mill sludge as a renewable substrate for the production of acetone-butanol-ethanol using *Clostridium sporogenes* NCIM 2337. *Energy Sources Part A: Recovery, Utilization, and Environmental Effects*, 2018, vol. 40, no. 1, pp. 39–44. <https://doi.org/10.1080/15567036.2017.1405107>
- Spiegelman D., Whissell G., Greer C.W. A survey of the methods for the characterization of microbial consortia and communities. *Can. J. Microbiol.*, 2005, vol. 51, pp. 355–386.

Горбунова Юлия Олеговна  
лаборант-исследователь  
Иркутский государственный университет  
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 34–34–37  
e-mail: iuliia\_gorbunova\_93@mail.ru

Gorbunova Yuliya Olegovna  
Research Assistant  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,  
Russian Federation  
tel.: (3952) 34–34–37  
e-mail: iuliia\_gorbunova\_93@mail.ru

Жданова Галина Олеговна  
научный сотрудник  
Иркутский государственный университет  
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1  
тел.: (3952) 34–34–37  
e-mail: zhdanova86@yandex.ru

Zhdanova Galina Olegovna  
Research Scientist  
Irkutsk State University  
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,  
Russian Federation  
tel.: (3952) 34–34–37  
e-mail: zhdanova86@yandex.ru

Цыренов Владимир Жигжитович  
доктор биологических наук, профессор  
Восточно-Сибирский государственный  
университет технологий и управления

Tsyrenov Vladimir Zhigzhitovich  
Doctor of Sciences (Biology), Professor  
East-Siberian State University of Technology  
and Management

Россия, Республика Бурятия, г. Улан-Удэ,  
ул. Ключевская, 40В, стр. 1  
тел.: (3012)43-14-15, (3012)41-71-50  
e-mail: vtsyrenov@gmail.com

40B, building 1, Klyuchevskaya st.,  
Ulan-Ude, Republic of Buryatia, 670013,  
Russian Federation  
tel.: (3012)43-14-15, (3012)41-71-50  
e-mail: vtsyrenov@gmail.com

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 ИИЦ СО РАН,  
Россия, 664520, пос. Листвянка,  
ул. Академическая, д. 1  
тел.: (3952) 34-34-37  
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 Settl.,  
664520, Russian Federation  
tel.: (3952) 34-34-37  
e-mail: stomd@mail.ru

Хрони Михаил Эдуардович  
студент  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет  
Россия, 664074, г. Иркутск,  
ул. Лермонтова, 83  
тел.: (3952) 40-51-06  
e-mail: ya.misha20122@yandex.ru

Chroni Mikhail Eduardovich  
Student  
Irkutsk National Research Technical University  
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074,  
Russian Federation  
tel.: (3952) 40-51-06  
e-mail: ya.misha20122@yandex.ru

Толстой Михаил Юрьевич  
кандидат технических наук, профессор,  
зав. кафедрой, директор инновационного  
центра «Энергоэффективность»  
ИРНТУ  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет  
Россия, 664074, г. Иркутск,  
ул. Лермонтова, 83  
тел.: (3952) 40-51-43, 40-51-42  
e-mail: tolstoi@istu.edu

Tolstoy Mikhail Yurievich  
Candidate of Sciences (Technics), Head of  
Chair, Director of Energy Efficiency  
Innovation Center by INRTU  
Irkutsk National Research Technical University  
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074,  
Russian Federation  
tel.: (3952) 40-51-43, 40-51-42  
e-mail: tolstoi@istu.edu

Рябчикова Ирина Алексеевна  
кандидат биологических наук, доцент  
Иркутский национальный исследовательский  
технический университет  
Россия, 664074 г. Иркутск,  
ул. Лермонтова, 83  
тел.: (3952) 40-51-06  
e-mail: rjabchik@bk.ru

Ryabchikova Irina Alekseevna  
Candidate of Sciences (Biology), Associate  
Professor  
Irkutsk National Research Technical University  
83 Lermontov St., Irkutsk, 664074,  
Russian Federation  
tel.: (3952) 40-51-06  
e-mail: rjabchik@bk.ru



*Фиалков Владимир Абрамович*  
кандидат географических наук,  
ведущий научный сотрудник, советник  
председателя СО РАН  
Байкальский музей ИИЦ СО РАН  
Россия, 664520, пос. Листвянка,  
ул. Академическая, 1  
тел.: (3952) 45–31–46  
e-mail: fva@isc.irc.ru

*Купчинский Александр Борисович*  
кандидат биологических наук  
Вр. и. о. директора  
Байкальский музей ИИЦ СО РАН  
Россия, 664520, пос. Листвянка,  
ул. Академическая, 1  
тел.: (3952) 45–31–46  
e-mail: albor67@mail.ru

*Санкет Гоел*  
доктор наук, заведующий кафедрой  
Институт технологии и науки Бирла  
Пилани, Хайдерабад, Индия  
тел.: 040–66303686,  
e-mail: sgoel@hyderabad.bits-pilani.ac.in

*Fialkov Vladimir Abramovich*  
Candidate of Sciences (Geography), Leading  
Research Scientist, Adviser to the Chairman  
of SB RAS  
Baikal Museum ISC SB RAS  
1, Academicheskaya st. Listvyanka Settl.,  
664520, Russian Federation  
tel.: (3952) 45–31–46  
e-mail: fva@isc.irc.ru

*Kupchinsky Alexander Borisovich*  
Candidate of Sciences (Biology),  
Acting Director  
Baikal Museum ISC SB RAS  
1, Academicheskaya st. Listvyanka Settl.,  
664520, Russian Federation  
tel.: (3952) 45–31–46  
e-mail: albor67@mail.ru

*Sanket Goel*  
PhD, Head of Department  
Birla Institute of Technology and Science, Pilani  
Hyderabad Campus, Jawahar Nagar,  
Shameerpet, Hyderabad 500078, India  
tel.: 040–66303686  
e-mail: sgoel@hyderabad.bits-pilani.ac.in

**Дата поступления:** 27.02.2018  
**Received:** February, 27, 2018