



УДК 573.6+579.695

<https://doi.org/10.26516/2073-3372.2024.47.55>

Влияние синтетических поверхностно-активных веществ на гидрофобность клеток штамма *Micrococcus luteus* 1-и

Т. Ф. Казаринова, У. В. Буентуева, Г. О. Жданова*

Иркутский государственный университет, г. Иркутск, Россия

E-mail: stomd@mail.ru

Аннотация. Отмечается, что с применением метода MATH (microbial adhesion to hydrocarbon) изучено представляющее интерес в свете совершенствования технологии микробных топливных элементов влияние синтетических поверхностно-активных веществ (ПАВ) на изменение гидрофобности поверхности клеток бактериального штамма *Micrococcus luteus* 1-и. Анализируются четыре представителя различных классов ПАВ: додецилсульфат натрия (анионоактивное ПАВ), цетилтриметиламмония бромид (катионоактивное ПАВ), твин 80 (неионогенное ПАВ) и поливиниловый спирт (полимерное ПАВ). Представлено ранжирование испытанных соединений по показаниям молярных концентраций, оказывающих негативное действие на параметр гидрофобности.

Ключевые слова: синтетические ПАВ, гидрофобность микробных клеток, метод MATH (microbial adhesion to hydrocarbon), *Micrococcus luteus*, додецилсульфат натрия, твин 80, цетилтриметиламмония бромид, поливиниловый спирт.

Благодарности. Авторы признательны С. И. Иванченко за помощь в проведении экспериментов. Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ и DFG в рамках научного проекта № 21-54-12022.

Для цитирования: Казаринова Т. Ф., Буентуева У. В., Жданова Г. О. Влияние синтетических поверхностно-активных веществ на гидрофобность клеток штамма *Micrococcus luteus* 1-и // Известия Иркутского государственного университета. Серия Биология. Экология. 2024. Т. 47. С. 55–63. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2024.47.55>

Short communication

Effect of Synthetic Surfactants on the Hydrophobicity of *Micrococcus luteus* Cells 1-i

T. F. Kazarinova, U. V. Buentueva, G. O. Zhdanova*

Irkutsk State University, Irkutsk, Russian Federation

Abstract. The influence of synthetic surfactants belonging to different classes on changes in the hydrophobicity of the cell surface of the bacterial strain *Micrococcus luteus* 1-i was studied. The hydrophobicity index was studied by the MATH method (microbial adhesion to hydrocarbon). Four representatives of different classes of surfactants were tested: sodium dodecyl sulfate (anionic surfactant), cetyltrimethylammonium bromide (cationic surfactant), Tween-80 (nonionic surfactant) and polyvinyl alcohol (polymer surfactant). It was shown that the hydrophobicity of *M. luteus* 1-i cells

© Казаринова Т. Ф., Буентуева У. В., Жданова Г. О., 2024

*Полные сведения об авторах см. на последней странице статьи.
For complete information about the authors, see the last page of the article.

changed to varying degrees under the influence of the studied surfactants. A comparison of their molar concentrations, which have a negative effect on the hydrophobicity parameter, made it possible to rank these compounds in the following order (as the degree of reduction in hydrophobicity decreases): Tween-80 > sodium dodecyl sulfate > cetyltrimethylammonium bromide. The experimental data obtained are of practical interest in terms of studying the characteristics of the interaction of the tested bacterial strain *M. luteus* 1-i with electrode surfaces and substrates (components of wastewater and waste) in microbial fuel cell technology.

Keywords: synthetic surfactants, hydrophobicity of microbial cells, MATH method (microbial adhesion to hydrocarbon), *Micrococcus luteus*, sodium dodecyl sulfate, Tween 80, cetyltrimethylammonium bromide, polyvinyl alcohol.

For citation: Kazarinova T.F., Buentueva U.V., Zhdanova G.O. Effect of Synthetic Surfactants on the Hydrophobicity of *Micrococcus luteus* Cells 1-i. *The Bulletin of Irkutsk State University. Series Biology. Ecology*, 2024, vol. 47, pp. 55-63. <https://doi.org/10.26516/2073-3372.2024.47.55> (in Russian)

Введение

Гидрофобные эффекты играют существеннейшую роль во взаимодействиях клеток микроорганизмов с водонерастворимыми субстратами [Механизмы адгезивно-коадгезивного ... , 2020]. Особенно велико их значение в способности микробных клеток трансформировать такие гидрофобные продукты, как нефть и её производные.

В знаниях о гидрофобности, смачиваемости поверхности, бактериальной адгезии до сих пор остаётся много противоречивого и неизвестного, что требует дальнейшего изучения различных аспектов данной проблемы.

Ф. Ламари с соавторами установили, что гидрофобность поверхностных структур микробных клеток является определяющим фактором их адгезии на гидрофобных поверхностях. Авторы показали, что увеличение гидрофобности биотических и абиотических поверхностей вызывает усиление адгезии клеток *Vibrio* spp. [Lamari, Khouadja, Rtimi, 2018].

По мнению П. Ди Чиккио и соавторов, гидрофобные взаимодействия являются наиболее сильными из всех нековалентных взаимодействий. Наблюдается отчётливая прямо пропорциональная линейная связь между числом прикреплённых к гидрофобным поверхностям бактериальных клеток и степенью их гидрофобности [Biofilm formation ... , 2015].

Гидрофобность клеток микроорганизмов как интегральный показатель, отражающий состояние поверхности бактериальной клетки, значительно варьирует в зависимости от количества гидрофобных структур, на число и конформационные изменения которых оказывают влияние различные антибиотические вещества, условия культивирования клеток и другие факторы [Rubtsova, Kuiuikina, Ivshina, 2012].

При разработке перспектив микробных топливных элементов (МТЭ) весьма важно всестороннее изучение гидрофобности поверхности клеток используемых в них бактерий *Micrococcus luteus* по отношению к электродам, которым они должны отдавать электроны [Effect of initial ... , 2007; Bioelectrochemical processes ... , 2021; Electrochemical Parameters ... , 2023]. При этом на генерирование тока в процессах утилизации сточных вод и отходов в МТЭ могут оказывать такие широко распространённые поллютанты, как поверхностно-активные вещества (ПАВ), входящие в состав многих бытовых и

промышленных моющих средств [Surfactant pollution ... , 2022]. Одной из причин влияния ПАВ на указанные электрохимические процессы может быть нарушение ими взаимодействий между микробными клетками и электродом. Поскольку гидрофобность клеток является одним из определяющих факторов таких взаимодействий, целью данной работы стало изучение действия представителей основных классов ПАВ на гидрофобность поверхности клеток *M. luteus* 1-и.

Материалы и методы

В работе изучали четыре соединения, представляющие разные классы поверхностно-активных веществ:

1) катионоактивное ПАВ – цетилтриметиламмоний бромид (СТАВ) (high purity grade; CAS № 57-09-0; VWR Chemicals LLC, USA);

2) анионоактивное ПАВ – додецилсульфат натрия (ДСН) (квалификация tech; марка AS-95N, TAINOLIN™ (Taiwan NJC, Тайвань); CAS № 151-21-3 каталожный номер TNJC-151213.F00250);

3) неионогенное ПАВ – твин 80, или полиоксиэтилен (20) сорбитан моноолеат (CAS № 9005-65-6, поставщик «Вектон», Россия);

4) полимерное ПАВ – поливиниловый спирт (марка 11/2, сорт высший, ГОСТ (ТУ) 10779-78, с изм. 1,2; CAS № 9002-89-5) (ГРАНХИМ, Россия).

Растворы ПАВ в концентрациях 10, 100, 200, 400, 800 мг/л для экспериментов готовили на физиологическом растворе с pH 7,2.

Объект исследования – штамм бактерии *Micrococcus luteus* 1-и, выделенный нами ранее из активного ила очистных сооружений нефтеперерабатывающего предприятия (г. Ангарск, Россия) и депонированный во Всероссийской коллекции микроорганизмов под номером ВКМ Ас-2637D. Проведённые ранее исследования продемонстрировали его способность к генерированию электрического тока в МТЭ [Active sludge ... , 2017; Bioelectrochemical processes ... , 2021]. Бактерии культивировали на мясопептонном агаре (состав среды, г/л: пептон ферментативный – 10,0; мясной экстракт – 11,0±1; натрия хлорид – 5,0; агар микробиологический – 15,0±3). Оптимальная для роста штамма температура 30 °С.

В экспериментах по оценке гидрофобности клеток использовали односуточную культуру *M. luteus* 1-и. Смыть бактериальной биомассы с поверхности агара производили физиологическим раствором. Полученную суспензию центрифугировали при 3000 об/мин в течение 10 мин. После удаления надосадочной жидкости клетки дважды отмывали PUM-буфером следующего состава (г/л): $K_2HPO_4 \times 3H_2O$ – 22,2; KH_2PO_4 – 7,26; NH_4NO_3 – 1,8; $MgSO_4 \times 7H_2O$ – 0,2; pH 7,1–7,4 [Rosenberg, Gutnik, Rosenberg, 1980]. Отмытые от компонентов питательной среды микробные клетки суспендировали в физиологическом растворе путём перемешивания полученной бактериальной суспензии на орбитальном шейкере OS-20 (Biosan, Латвия) со скоростью перемешивания 80 об/мин в течение 10 мин.

Гидрофобность культуры *M. luteus* 1-и оценивали методом МАТН (microbial adhesion to hydrocarbon) – по относительному распределению кле-

ток между водной фазой и фазой органического растворителя (гексадекана) [Rosenberg, Gutnik, Rosenberg, 1980; Rosenberg, 1981]. В обезжиренные пробирки объёмом 20 мл вносили полученную суспензию клеток микроорганизмов (3 мл), термостатировали в течение 15 мин при 30 °С и добавляли 0,5 мл гексадекана (чда; ТУ 2631-186-44493176-2014; «Экос», Россия). Содержимое пробирок интенсивно встряхивали в течение 1 мин, затем снова термостатировали в течение 15 мин при 30 °С. Отбирали суспензию микроорганизмов из-под слоя гексадекана и измеряли её оптическую плотность на спектрофотометре ПЭ-5300В («Экротех», Россия) при длине волны 540 нм в кювете с толщиной пропускного слоя 1,0 см. Контролем служил стерильный физиологический раствор.

Гидрофобность (%) определяли по разнице показателя оптической плотности исходной суспензии и после экспозиции с углеводородом по формуле

$$[1 - (A / A_0)] \times 100,$$

где A_0 – оптическая плотность исходной суспензии клеток, A – оптическая плотность суспензии клеток после смешивания с углеводородом.

При определении влияния ПАВ на гидрофобность микроорганизмов клетки после отмыва от компонентов среды суспендировали в испытуемых растворах ПВС, ЦТАБ, ДСН, твин 80 с концентрациями 10, 100, 200, 400, 800 мг/л в течение 30 мин. После экспозиции с ПАВ пробы дважды отмывали от остатков ПАВ путём центрифугирования (3000 g, 10 мин) и удаления надосадочной жидкости. Отмытые от ПАВ микробные клетки суспендировали в физиологическом растворе путём перемешивания полученной бактериальной суспензии на орбитальном шейкере (80 об/мин в течение 10 мин). Определяли гидрофобность клеток *M. luteus* 1-и в соответствии с методикой, описанной выше.

Все приведённые в работе цифровые значения параметров гидрофобности получены в трёх независимых опытах, выполненных в пяти повторностях каждый. На рисунке приведены результаты типичного эксперимента. Для статистической обработки полученных данных применяли табличный процессор Excel из пакета MS Office 2016. На графиках приведены значения среднего арифметического и стандартное отклонение среднего арифметического (или средняя квадратичная ошибка). Достоверность различия результатов определяли с помощью критерия Стьюдента. Выводы сделаны с вероятностью безошибочного прогноза $p \geq 0,95$.

Результаты и обсуждение

Предварительно были оптимизированы условия проведения экспериментов по оценке гидрофобности культуры штамма *M. luteus* 1-и, поскольку этот параметр сильно зависит от различных факторов среды. С этой целью изучали зависимость гидрофобности от возраста культуры, рН суспензии, температуры и времени экспозиции с гексадеканом. В диапазоне рН от 6,4 до 7,8 результаты достоверно не отличались. Наибольшей величины (61,2 %) гидрофобность достигала при рН 7,4. При рН 8,0 наблюдали резкое (в 10 раз)

снижение гидрофобности клеток культуры (до 6,1 %). На основании полученных результатов были выбраны следующие параметры для определения гидрофобности: возраст культуры 24 ч; pH суспензии на фосфатном буфере 7,2–7,4; время выдерживания с гексадеканом 15 мин, температура 30 °С.

Неионогенное ПАВ твин 80 значительно снижало гидрофобность поверхности клеток штамма *M. luteus* 1-и во всём исследуемом диапазоне концентраций (10–800 мг/л). Внесение 10 мг/л этого ПАВ приводило к снижению показателя с $49,8 \pm 1,7$ % (контроль) до $15,1 \pm 0,9$ %. В присутствии 100 мг/л твин 80 гидрофобность снизилась до $10,9 \pm 2,0$ %, а 200 мг/л и выше – достигала 0 %, т. е. поверхность микробных клеток становилась полностью гидрофильной (рис., а).

При оценке влияния анионоактивного ПАВ додецилсульфат натрия (в диапазоне концентраций 10–800 мг/л) на гидрофобность клеток *M. luteus* 1-и обнаруживалась довольно хорошая обратная зависимость уровня гидрофобности от концентрации ПАВ: с ростом концентрации ПАВ исследуемый показатель снижался. Так, гидрофобность клеток уменьшалась с 40,7 % (контроль) до 31,8 % в присутствии 10 мг/л этого ПАВ и до 22,1 % при 100 мг/л. Наиболее низкие значения гидрофобности были получены в экспериментах с 400 и 800 мг/л ДСН – 7,9 и 4,6 % соответственно (рис., б).

Схожую тенденцию наблюдали в экспериментах с полимерным ПАВ поливиниловый спирт, снижавшим гидрофобность клеток штамма *M. luteus* 1-и при содержании от 100 до 800 мг/л. В этом в диапазоне концентраций показатель гидрофобности микробных клеток *M. luteus* 1-и колебался на уровне от $8,0 \pm 2,6$ до $17,8 \pm 4,3$ %, в то время как в контроле этот показатель был равен $43,5 \pm 3,2$ % (рис., в).

Как и описанные выше соединения, катионоактивное ПАВ цетилтриметиламмония бромид (СТАВ) в исследуемом диапазоне концентраций (от 10 до 800 мг/л) снижало гидрофобность клеток по сравнению с контролем на 23,4 (при 400 мг/л) – 53,8 (при 200 мг/л) %. Следует, однако, отметить, что, в отличие от экспериментов с другими ПАВ, градуальной зависимости в вариантах с добавлением СТАВ не наблюдали (рис., г).

Для сопоставления эффектов, которые оказывали изученные ПАВ на гидрофобность поверхности клеток бактерий штамма *M. luteus* 1-и, провели пересчёт взятых в эксперименты концентраций из массовых (мг/л) в молярные (моль/л) (табл.).

Таблица

Соответствие массовых и молярных концентраций исследуемых ПАВ

Массовая концентрация ПАВ (мг/л)	Молярная концентрация ПАВ (ммоль/л)			
	Додецилсульфат натрия	Цетилтриметиламмония бромид	Твин 80	Поливиниловый спирт
10	0,035	0,027	0,008	–
100	0,347	0,274	0,076	–
200	0,694	0,549	0,153	–
400	1,387	1,098	0,305	–
800	2,774	2,195	0,611	–

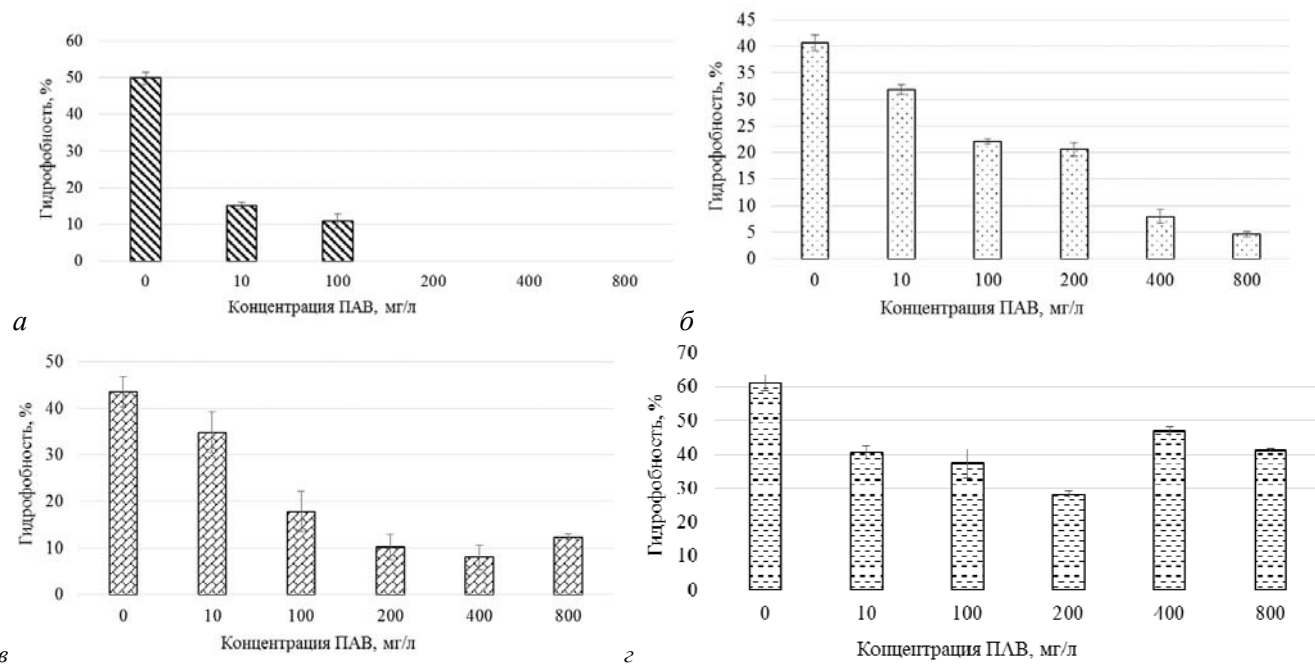


Рис. Влияние ПАВ разных классов на гидрофобность клеток штамма *M. luteus* 1-и по отношению к гексадекану: а – неионогенный ПАВ твин 80; б – анионоактивный ПАВ додецилсульфат натрия; в – полимерный ПАВ поливиниловый спирт; г – катионоактивный ПАВ цетилтриметиламмония бромид

Сопоставление молярных концентраций испытанных ПАВ, оказывающих негативное действие на параметр гидрофобности, позволяет ранжировать эти соединения в следующем порядке (по мере уменьшения способности к гидрофилизации поверхности клеток *M. luteus* 1-и): твин 80 > додецилсульфат натрия > цетилтриметиламмония бромид. Так, например, в концентрации 100 мг/л (которая соответствовала для твин 80 0,076 ммоль/л, для ДСН 0,347 ммоль/л, для СТАВ 0,274 ммоль/л) испытываемые ПАВ снижали гидрофобность клеток *M. luteus* относительно контроля в 4,6; 1,8 и 1,6 раза соответственно. Поливиниловый спирт не был включён в этот ряд, поскольку вычислить молярную массу этого полимера не представляется возможным.

Заключение

Гидрофобность поверхности клеток штамма *M. luteus* 1-и в разной степени менялась под воздействием исследованных ПАВ. Наиболее значительное снижение гидрофобности клеток *M. luteus* отмечали в опытах с неионогенным ПАВ твин 80, который при достижении концентрации 200 мг/л резко повышал гидрофильность поверхностных структур бактериальных клеток.

Характер изменения гидрофобности клеток *M. luteus* под действием анионоактивного ПАВ додецилсульфат натрия и полимерного ПАВ поливиниловый спирт был схож. Эти ПАВ во всём исследуемом диапазоне концентраций (от 10 до 800 мг/л) последовательно уменьшали гидрофобность поверхности бактериальных клеток. Тем не менее полного (до 0) снижения анализируемого показателя, как в случае с твин 80, не происходило.

Наименьшее влияние (при пересчёте на молярные концентрации) оказывал катионоактивный ПАВ цетилтриметиламмония бромид. В его присутствии в содержании от 10 до 800 мг/л показатель гидрофобности клеток колебался на уровне 20–50 % ниже контрольного, однако существенной градуальной зависимости выявить не удалось.

Список литературы

Механизмы адгезивно-коадгезивного взаимодействия бактерий при формировании биопленки / Б. Г. Андрюков, Р. В. Ромашко, Т. А. Ефимов, И. Н. Ляпун, М. П. Бынина, Е. В. Матосова // Молекулярная генетика, микробиология и вирусология. 2020. Т. 38, № 4. С. 155–161. <https://doi.org/10.17116/molgen202038041155>

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 // Proc. 17th Int. Sci. Geoconf. SGEM 2017. Vienna. 2017. Vol. 17, Is 42. P. 19. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/42/S17.003>

Bioelectrochemical processes of oxidation of dicarboxylic amino acids by strain *Micrococcus luteus* 1-I in a biofuel cell / A. V. Kuznetsov, N. N. Khorina, E. Yu. Konovalova, D. Yu. Amsheev, O. N. Ponamoreva, D. I. Stom // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. Vol. 808. P. 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/808/1/012038>

Biofilm formation by *Staphylococcus aureus* on food contact surfaces: Relationship with temperature and cell surface hydrophobicity / P. Di Ciccio, A. Vergara, A. R. Festino, D. Paludi, E. Zannardi, S. Ghidini, A. Ianieri // Food Control. 2015. Vol. 50. P. 930–936. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.10.048>

Effect of initial carbon sources on the performance of a microbial fuel cell containing environmental microorganism *Micrococcus luteus* / Y. Choi, E. Jung, H. Park, S. Jung, S. Kim // Bull. Korean Chem. Soc. 2007. Vol. 28, N 9. P. 1591. <https://doi.org/10.5012/bkcs.2007.28.9.1591>

Electrochemical Parameters of Microbial Fuel Cells Based on the *Micrococcus luteus* Strain, New Ion-Exchange Membranes and Various Sugars / A. N. Chesnokova, S. A. Zakarchevsky, G. O. Zhdanova, D. I. Stom // *Russ. J. Electrochem.* 2023. Vol. 59, N 9. P. 660–665. <https://doi.org/10.1134/S1023193523090057>

Lamari F., Khouadja S., Rtimi S. Interaction of Vibrio to Biotic and Abiotic Surfaces: Relationship between Hydrophobicity, Cell Adherence, Biofilm Production, and Cytotoxic Activity // *Surfaces*. 2018. Vol. 1. P. 187–201. <https://doi.org/10.3390/surfaces1010014>

Rosenberg M. Bacterial adherence to polystyrene: a replica method of screening for bacterial hydrophobicity // *Appl. Environ. Microbiol.* 1981. Vol. 42, N 2. P. 375–377. <https://doi.org/10.1128/aem.42.2.375-377.1981>

Rosenberg M., Gutnik D., Rosenberg E. Adherence of bacteria to hydrocarbons: A simple method for measuring cell, surface hydrophobicity // *FEMS Microbiol. Lett.* 1980. Vol. 9. P. 29–33. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1980.tb05599.x>

Rubtsova E. V., Kuiuikina M. S., Ivshina I. B. Effect of cultivation conditions on the adhesive activity of rhodococci towards n-hexadecane // *Appl. Biochem. Microbiol.* 2012. Vol. 48. P. 452–459.

Surfactant pollution, an emerging threat to ecosystem: Approaches for effective bacterial degradation / J. Arora, A. Ranjan, A. Chauhan, R. Biswas, V. D. Rajput, S. Sushkova, S. Mandzhieva, T. Minkina, T. Jindal // *J. Appl. Microbiol.* 2022. Vol. 133. P. 1229–1244. <https://doi.org/10.1111/jam.15631>

References

Andryukov B.G., Romashko R.V., Efimov T.A., Lyapun I.N., Bynina M.P., Matosova E.V. Mekhanizmy adgezivno-koadgezivnogo vzaimodeystviya bakterii pri formirovanii bioplenki [Mechanisms of adhesive-cohesive interaction of bacteria in the formation of a biofilm]. *Mol. Gen. Microbiol. Virol.*, 2020, vol. 38, no. 4, pp. 155–161. (in Russian). <https://doi.org/10.17116/molgen202038041155>

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. *Proc. 17th Int. Sci. Geoconf. SGEM 2017*. Vienna, 2017, vol. 17, is 42, pp. 19. <https://doi.org/10.5593/sgem2017/42/S17.003>

Kuznetsov A.V., Khorina N.N., Konovalova E.Yu., Amsheev D.Yu., Pomamoreva O.N., Stom D.I. Bioelectrochemical processes of oxidation of dicarboxylic amino acids by strain *Micrococcus luteus* 1-I in a biofuel cell. *IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci.*, 2021, vol. 808, p. 012038. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/808/1/012038>

Di Ciccio P., Vergara A., Festino A.R., Paludi D., Zanardi E., Ghidini S., Ianieri A. Biofilm formation by *Staphylococcus aureus* on food contact surfaces: Relationship with temperature and cell surface hydrophobicity. *Food Control*, 2015, vol. 50, pp. 930–936. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.10.048>

Choi Y., Jung E., Park H., Jung S., Kim S. Effect of initial carbon sources on the performance of a microbial fuel cell containing environmental microorganism *Micrococcus luteus* // *Bull. Korean Chem. Soc.*, 2007, vol. 28, no. 9, pp. 1591. <https://doi.org/10.5012/bkcs.2007.28.9.1591>

Chesnokova A.N., Zakarchevsky S.A., Zhdanova G.O., Stom D. I. Electrochemical Parameters of Microbial Fuel Cells Based on the *Micrococcus luteus* Strain, New Ion-Exchange Membranes and Various Sugars. *Russ. J. Electrochem.*, 2023, vol. 59, no. 9, pp. 660–665. <https://doi.org/10.1134/S1023193523090057>

Lamari F., Khouadja S., Rtimi S. Interaction of Vibrio to Biotic and Abiotic Surfaces: Relationship between Hydrophobicity, Cell Adherence, Biofilm Production, and Cytotoxic Activity. *Surfaces*, 2018, vol. 1, pp. 187–201. <https://doi.org/10.3390/surfaces1010014>

Rosenberg M. Bacterial adherence to polystyrene: a replica method of screening for bacterial hydrophobicity. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1981, vol. 42, no. 2, pp. 375–377. <https://doi.org/10.1128/aem.42.2.375-377.1981>

Rosenberg M., Gutnik D., Rosenberg E. Adherence of bacteria to hydrocarbons: A simple method for measuring cell, surface hydrophobicity. *FEMS Microbiol. Lett.*, 1980, vol. 9, pp. 29–33. <https://doi.org/10.1111/j.1574-6968.1980.tb05599.x>

Rubtsova E.V., Kuiuikina M.S., Ivshina I.B. Effect of cultivation conditions on the adhesive activity of rhodococci towards n-hexadecane. *Appl. Biochem. Microbiol.*, 2012, vol. 48, pp. 452-459.

Arora J., Ranjan A., Chauhan A., Biswas R., Rajput V.D., Sushkova S., Mandzhieva S., Minkina T., Jindal T. Surfactant pollution, an emerging threat to ecosystem: Approaches for effective bacterial degradation. *J. Appl. Microbiol.*, 2022, vol. 133, pp. 1229-1244. <https://doi.org/10.1111/jam.15631>

Сведения об авторах

Казаринова Татьяна Филипповна
кандидат биологических наук, доцент
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: tkazarinova@mail.ru

Бuentueва Ульяна Витальевна
студент
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: ulyana.buentueva@mail.ru

Жданова Галина Олеговна
лаборант-исследователь
Иркутский государственный университет
Россия, 664003, г. Иркутск, ул. К. Маркса, 1
e-mail: zhdanova86@yandex.ru

Information about the authors

Kazarinova Tatyana Filippovna
Candidate of Sciences (Biology)
Associate Professor
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: tkazarinova@mail.ru

Buentueva Ulyana Vitalievna
Student
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: ulyana.buentueva@mail.ru

Zhdanova Galina Olegovna
Research Assistant
Irkutsk State University
1, K. Marx st., Irkutsk, 664003,
Russian Federation
e-mail: zhdanova86@yandex.ru