

УДК 579.63

## ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЕ И ПРИКЛАДНЫЕ АСПЕКТЫ ПРОИЗВОДСТВА БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ

**Кусачева С.А., Морозенко М.И., Черняев С.И., Жукова Ю.М.**

*Калужский филиал ФГБОУ ВПО «Московский государственный технический университет  
им. Н.Э. Баумана», Калуга, e-mail: fn2kf@bk.ru*

Настоящая статья посвящена рассмотрению фундаментальных и прикладных основ получения биоэлектричества, как результата каталитической деятельности микроорганизмов. Выполнен ретроспективный обзор передовых отечественных и зарубежных разработок в направлении выработки биоэнергии. Проанализированы известные биотехнологические направления получения биоэнергии. Приведено обоснование, и показана актуальность выполнения фундаментальных исследований и прикладных разработок в области альтернативной энергетики. Освещены способы и механизмы генерации электрической энергии животными. Показана принципиальная возможность выработки электроэнергии микроорганизмами. Рассмотрены и оценены возможности применения различных видов микроорганизмов и их ассоциаций. Исследованы принципы и механизмы получения биоэлектричества, затронуты проблемы конструкционных и технологических решений, и обозначены направления их преодоления. Обозначены перспективные направления исследований в данной сфере на основе анализа современных тенденций, достижений мирового научного сообщества и собственных разработок.

**Ключевые слова:** биоэлектричество, альтернативная энергетика, электрогенные микроорганизмы, биокаталитическое окисление, микробиологические топливные элементы, активный ил

## FUNDAMENTAL AND APPLIED ASPECTS OF THE PRODUCTION OF BIOELECTRICITY

**Kusacheva S.A., Morozenko M.I., Chernyaev S.I., Zhukova Y.M.**

*Moscow State Technical University N.Ye. Bauman, Kaluga, e-mail: fn2kf@bk.ru*

Article is devoted to consideration of fundamental and applied bases of receiving bioelectricity as result of catalytic activity of microorganisms. The retrospective review of the advanced domestic and foreign development in the direction of bioenergy development is executed. The known biotechnological directions of obtaining bioenergy are analysed. Justification is given and relevance of basic researches performance and applied development in the field of alternative power engineering is shown. Ways and mechanisms of generation of electric energy are illustrated by animals. Basic possibility of power generation is shown by microorganisms. Application possibilities of different types of microorganisms and their associations are considered and estimated. The principles and mechanisms of receiving bioelectricity are investigated, issues of constructional and technological decisions are viewed and the directions of their overcoming are designated. The perspective directions of researches in this sphere on the basis of the analysis of current trends, achievements of the world scientific community and own development are marked.

**Keywords:** bioelectricity, alternative energy, electrogenic microorganisms, biocatalytic oxidation, microbial fuel cells, activated sludge

Еще в 30-х годах прошлого столетия было обнаружено, что живые клетки являются приемниками и передатчиками электромагнитного излучения [4]. Известно также, что в живых организмах происходят разнообразные электрические процессы, а любое функционирование живых тканей сопровождается электрическими явлениями. Генерация и распространение электрических потенциалов – важнейшее физическое явление в живых клетках и тканях. Биоэлектрический потенциал – разность потенциалов между двумя точками живой ткани, определяющая ее биоэлектрическую активность. Считается, что биопотенциал имеет мембранную природу [5].

Например, по сообщению руководителя института квантовой генетики, д.б.н. П.П. Горяева, основанному на результатах проведенных исследований, ими были получены реальные доказательства того, что генетическая информация может существо-

вать в форме электромагнитных – фотонных и/или радиоволновых полей, несущих полезный сигнал на квантовом параметре поляризации электромагнитных векторов. В этом обзоре мы не ставили целью проведение анализа сообщения о полевом геноме Петра Горяева, гласящей о том, что генетическая информация может существовать в виде электромагнитного поля и может быть передана из одного организма в другой. В нашем исследовании нас интересует лишь «электрическая» составляющая. Фактически речь идет о том, что ученым удалось зафиксировать наличие электромагнитных излучений, испускаемых ДНК. «Непосредственно зарегистрировано сверхслабое (единицы квантов на квадратный сантиметр поверхности в секунду) когерентное электромагнитное излучение от живых организмов, имеющее информационно-регуляторное значение для внутри- и межклеточных связей» [2].

Развитие электроники и информационных технологий позволило создать целую серию аппаратов медицинского назначения, работающих в области регистрации и излучения слабых электромагнитных полей в широком диапазоне частот, а также метод биорезонансной терапии, в основе которого лежит использование электромагнитных колебаний, генерируемых живым организмом [3].

Много интересного таит в себе «живое электричество» или биоэлектричество – электричество, вырабатываемое растениями и животными. У животных электричество создается нервными импульсами и сокращением мышц (при сокращении любых мышечных волокон всегда возникают слабые электрические разряды). Процесс разделения ионов при прохождении через мембраны способствует созданию в организме разности электрических потенциалов [7]. В природе встречаются целые «живые подводные электростанции»: африканский сом, американский угорь, морской скат. У некоторых рыб имеются особые электрические органы (видоизменённые мышцы), создающие ток большой мощности, направленный наружу, с целью выслеживания или оглушения добычи. Особенность электрических органов состоит в том, что их мышечные волокна «подключены» (присоединены) между собой в последовательную цепь, обеспечивая суммирование напряжений. Так, напряжение разрядного электрического тока, генерируемого электрическими органами африканских сомов, может достигать 400В, а американских угрей – 600В, хотя, в обычных условиях оно не превышает 350В. Науке также известны еще около 300 видов рыб, способных генерировать слабые разряды (0,2В–2В), используемые ими для ориентации или поиска добычи. Предположительно, биоэлектричество могут воспринимать и рыбы, не имеющие электрических органов – считается, что рыбы в стае не разбредаются во все стороны, улавливая боковой линией водные колебания соседей, а также образующиеся в их мускулатуре электрические разряды.

Весьма интересным и перспективным направлением развития альтернативной энергетики в последнее десятилетие принято считать использование в качестве электрогенераторов специфических микробов.

Принципиальная возможность генерирования электрического тока некоторыми микроорганизмами известна давно, уже более 100 лет [22], а устройства для генерации тока бактериями – микробиологические топливные элементы (МТЭЛы) – достаточно интенсивно изучают около 50 лет [21], но

только в последние годы эти исследования приобрели широкий масштаб [15].

Технология, использующая микробные топливные ячейки (MFCs), которые конвертируют (преобразовывают) энергию, запасенную в химических соединениях органического состава в электрическую энергию, в результате жизнедеятельности микроорганизмов, интересуют отечественных и зарубежных авторов достаточно продолжительное время [16]. По существующим экспериментальным данным, бактерии могут использоваться в MFCs для производства электричества при выполнении биологического распада органических отходов, причем известно, что ток связан с жизнедеятельностью организмов, так как убивка микроорганизмов прекращает выработку тока [20].

Все биотехнологические производства основаны на использовании специфических физиологических особенностей, используемых микроорганизмов. Необходимы знания того, какие вещества и продукты являются для них предпочтительной питательной средой и продуцентами каких веществ или органических соединений они являются сами, а также понимание множества нюансов культивирования. Например, следует знать, что способностью к синтезу витаминов обладают лишь автотрофные организмы. Или же то, что экономически с помощью микроорганизмов целесообразно получать лишь сложные по строению витамины:  $\beta$ -каротин (провитамин А),  $B_2$ ,  $B_{12}$  и предшественники витамина D. А вот уксусную кислоту продуцируют *Acetobacter* и *Gluconobacter*, лимонную – *Aspergillus niger*, *Aspergillus wentii*. Для промышленного изготовления молочной кислоты пригодны только гомотермотивные молочнокислые бактерии, образующие до 98% молочной кислоты. Применяются штаммы *Lactobacillus delbrueckii*, *Lactobacillus bulgaricus* и т.д. и т.п. [18].

Новый способ получения электричества из обычного сахара предложили двое ученых Массачусетского университета. Новая методика, предположительно, может быть использована для питания маломощных аппаратов: калькуляторов, мобильных телефонов и записных книжек. Профессор Дерек Лавли и его помощник Своде Чаудхури после нескольких испытаний обнаружили микроорганизм, способный на протяжении довольно длительного времени вырабатывать электричество путем окисления углеводов. Микроорганизм назвали *Rhodospirillum rubrum*. При окислении органических веществ выделяется углекислый газ. Это пока что единственный побочный

эффект реакции. *Rhodospirillum rubrum* передает электроны непосредственно на электрод. Причем ученые добились того, что удалось преобразовать около 80 процентов всех электронов, раньше показатель не превышал 10 процентов. Теоретически стакана сахара должно хватить для питания 60-ваттной лампочки в течение 17 часов. Хотя практически выработанного электричества в ходе реакции хватает для работы калькулятора. «Пока что технология еще нуждается в доработке, так как скорость процесса очень мала», – пишет издание Cellular-news [12].

Учитывая, что в ряду альтернативных источников энергии особое место занимает биоэнергетика, использующая для производства энергии биотопливо, получаемое из растительного или животного сырья, а также продуктов жизнедеятельности организмов или органических промышленных отходов, вполне естественной выглядит задача биотрансформации питательных веществ и соединений органической природы в электрическую энергию посредством специфических «электрогенных» микробов. Не выделяясь особо высоким уровнем энергоотдачи (по сравнению с другими альтернативными источниками энергии), этот источник возобновляемой энергии завоевывает все большую популярность благодаря своим экологическим кондициям [3].

Микробиологи из медицинского университета Южной Каролины, занимающиеся разработкой биологических методов очистки сточных вод, обнаружили, что некоторые бактерии, питающиеся химическими отходами, способны производить электричество. Результаты исследования были представлены на общем собрании Американской ассоциации микробиологов. Как утверждает Чарльз Милликен, который проводил эти исследования, вырабатываемой электрической энергии может хватить для питания небольших электрических приборов. Хотя идея микробных источников электричества не нова, ранее для этих целей использовали бактерии, питающиеся сахаром и пищевыми отходами. Милликен и его коллега Харольд Мэй впервые обнаружили способность к производству электричества у спорообразующих анаэробных бактерий рода *Desulfotobacterium*, которые известны тем, что могут разлагать особо опасные химические отходы, в частности, полихлорированные дифенилы. В споровой форме бактерии устойчивы к высокой температуре, радиации и засухе. Эти особенности делают их перспективными для микробных источников тока будущего [1].

Британские ученые также выражают уверенность в том, что уже в ближайшие годы могут появиться «биоаккумуляторы», способные «работать на бактериях». Национальная академия наук Великобритании опубликовала статью о способности микроорганизмов *Shewanella Oneidensis*, благодаря использованию своих клеточных мембран, вырабатывать электрический ток. Для этого им достаточно вступить в соприкосновение с металлами или минералами. Разумеется, эту особенность попытаются использовать при создании биоаккумуляторов, если будет найден адгезивный метод, с помощью которого удастся прочно соединить микроорганизмы с электродами. Учеными уже создана синтетическая версия морских бактерий *Shewanella Oneidensis*, которая использует при этом только белки для трансфера электронов от внутренней части микроба к элементу. Потом их заключили в слои пузырьков, которые представляют собой небольшие липидные капсулы, точно такие же, как те, из которых состоит мембрана бактерий. Эксперименты позволили установить, что эти белки, касаясь минеральных поверхностей, производят электрический ток. Следовательно, этим смогут заниматься и бактерии, помещенные на поверхность металла или минерала. Поэтому можно с уверенностью сказать, что уже в ближайшем будущем должны появиться на свет первые биоаккумуляторы [8].

Другие британские исследователи обнаружили микроорганизмы *Bacillus stratosphericus* и *Bacillus altitudinis*, которые также способны вырабатывать электричество. Во время эксперимента, исследователи собрали 75 разных видов бактерий и проверили их, используя микробную топливную батарею – систему, которая превращает органические соединения прямо в электричество с помощью биокаталитического окисления. Биопленка или слизь покрывает углеродные электроды этой батареи и по мере того, как бактерии питаются, они вырабатывают электроны, которые переходят в электроды и генерируют электричество. Оказалось, что *Bacillus stratosphericus* и *Bacillus altitudinis* смогли удвоить электрическую мощность микробной топливной батареи со 105 мВт с м<sup>3</sup> до 200 мВт с м<sup>3</sup>. Использование микробов для выработки электричества не является новой идеей, и она уже использовалась для обработки сточных вод и очистных сооружений [6].

Вышеупомянутому есть множество предпосылок, и следует отметить, что в России также успешно проводятся аналогичные научные и экспериментальные

исследования. Так, оригинальную разработку в области микробных биотопливных элементов, в основе функционирования которых лежат процессы биокаталитического окисления органических веществ и преобразование энергии микробного метаболизма в электрическую энергию, представили на выставке НТТМ-2013 молодые ученые и специалисты из Краснодара. «Принцип действия разработанного устройства основан на способности микроорганизма окислить органическую молекулу до углекислого газа, при этом освобождая электроны и протоны. Так, например, из глюкозы может быть получено 24 электрона. В живых организмах электроны проходят по цепочке ферментов, составляющих так называемую дыхательную цепь, что приводит к сопряженному синтезу молекул АТФ. «Отработанные» электроны сбрасываются клеткой на внешний дыхательный акцептор – молекулярный кислород, который, соединяясь с протонами, образует воду. Природу здесь можно «обмануть», предложив клетке вместо кислорода, в качестве внешнего акцептора, графитовый электрод. Он напрямую или через переносчики-медиаторы принимает электроны в качестве анода. Освобождающиеся протоны из ёмкости с бактериями через специальную протонселективную мембрану перемещаются в смежный сосуд с катодом. В результате при замыкании цепи между электродами возникнет электрический ток, в который можно включить полезную нагрузку». Генерируемый электрический потенциал пока составляет величину чуть более 1 В. Однако в качестве топлива подойдут любые органические субстраты, усваиваемые бактериями. В настоящее время обнаружены и широко изучаются специфические «электрогенные» микроорганизмы *Geobacter metallireducens* и *Shewanella oneidensis*, формирующие основу анодофильной микрофлоры. Таким образом, выработку электроэнергии можно вести, перерабатывая самые различные органические продукты. Это могут быть коммунальные сточные воды, органические стоки пищевой, текстильной и легкой промышленности, отходы молочных, животноводческих, других пищевых производств. Микробные топливные элементы выступают здесь как устройства биологической очистки с одновременным извлечением энергии. Производительность такой технологии пока невелика, но её развитие уже идёт бурными темпами в странах Запада, Юго-Восточной Азии [19].

В российском ГосНИИ генетики микроорганизмов вывели новый штамм электрогенной бактерии. Штаммы с более высоким

уровнем регенерации электронов на основе шеванеллы создали мутантов, которые на 30–40 процентов вырабатывают больше электронов [9].

Интересным представляется сообщение о биотехнологии получения электричества из грязи. Два американских микробиолога, Д. Ловли и Д. Бонд, сумели приспособить бактерии для производства электричества из грязи. Ученые давно уже заметили, что определенные микробы способны каким-то образом переносить электроны из среды с малым содержанием кислорода в среду с его большим содержанием. Обычно в таком переносе участвовали некоторые промежуточные вещества – продукты жизнедеятельности этих микробов [14]. Ловли и Бонд воспроизвели реальные условия, существующие на дне морей и океанов. При подходящем подборе концентрации кислорода ток между анодом и катодом – за счет переноса электронов микробами, питающимися на органических осадках, – оказался достаточным, чтобы питать небольшой ручной калькулятор. Микробы в установке Ловли-Бонда быстро истощали «рабочую среду», так что их требовалось перемещать во всё новые органические осадки [12].

Как сообщил *New Scientist*, биологам из Университета Южной Калифорнии удалось выявить бактерию *Mariprofundus ferrooxydans* PV-1, которая поглощает отрицательные частицы непосредственно с железных электродов, безо всякого сахара или других питательных веществ. Все просто: вставляете электрод в землю, пускаете по нему ток и собираете урожай микроорганизмов, которые приходят отведать электричества! Вердикт таков – более восьми видов бактерий, в том числе с весьма выдающимися способностями, могут потреблять и выделять электроны. Например, сотни тысяч бактерий могут сплетаться в целую «гирлянду» длиной около одного дюйма и поглощать кислород из морской воды для энергии. Такие «нити» могут скреплять почву и выступать проводником электричества так же хорошо, как обычный медный провод! Эти свойства можно интересно использовать на практике, создавая различные полезные устройства с автономным питанием, настоящие «биомшины» – например, «живые фильтры» для воды или целые сети «биопроводов» в почве. Наконец, это открытие позволило ученым убедиться в верности одного из основных принципов биологии: для выживания организму необходимо минимальное количество энергии [13].

Испанская компания *Biofuel Systems s. l.* представила разработку специалистов из университетов Аликанте и Валенсии по

производству экологически чистой электроэнергии из морских водорослей. Технология такова: в большие прозрачные резервуары заливается морская или пресная вода, туда же закладываются микроорганизмы, выращенные в лаборатории из стеблей морских водорослей естественного происхождения. Под воздействием солнечной энергии микроорганизмы в течение 48 часов произрастают. Затем 80% содержимого резервуара идет на переработку, оставшееся сырье вновь заливается водой, и процесс повторяется. Из готового сырья затем путем сжигания производят электроэнергию. Коэффициент теплоотдачи использования такого топлива в 1,5 раза больше, чем при сжигании угля. К тому же эта технология полностью исключает выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу – углекислый газ полностью идет на производство биомассы. Помимо этого, замкнутый цикл производства предполагает, что зольность, образующаяся в качестве отходов, используется в качестве удобрения [10].

Проблема микробиологической утилизации отходов органического происхождения в условиях космического полета в настоящее время является весьма актуальной с учетом общей тенденции увеличения длительности пребывания человека в космосе. Известны различные методы и технологии переработки отходов органического происхождения в условиях гермообъектов. В качестве одного из направлений работы при решении проблемы утилизации образующейся органики может рассматриваться технология микробиологической утилизации органических, в первую очередь, пищевых отходов, посредством получения биоэлектричества в условиях космического полета. Результаты работ в данном направлении были опубликованы ранее [11].

На кафедре промышленной экологии и химии Калужского филиала МГТУ им. Н.Э. Баумана, начиная с октября 2006 года проводятся фундаментальные исследования функционирования различных систем получения биоэнергии. Основываясь на анализе особенностей этих систем, был осуществлен подбор оптимальных конструкционных материалов, необходимых для создания оригинальной биоэлектрической установки, а также экспериментально определены параметры биотехнологического процесса и отработаны его режимы, в том числе с использованием различных субстратов органического происхождения. Например, можно утверждать, что уже имеются и вполне обнадеживающие результаты исследований по осуществлению управляемой биодеградациии отходов органического происхождения с одновременным полу-

чением электрической энергии, имеющие прикладное значение.

В ходе совместных с ГНЦ РФ – ИМБП РАН работ, было получено биоэлектричество из жидких органических отходов с использованием электрогенных бактерий (максимальные показатели DC получены с использованием микроорганизмов *Shewanella oneidensis*: напряжение – 0,48 В; сила тока – 200 мкА).

Был проведен анализ видового состава микрофлоры, полученного с анода двухкамерного микробиологического топливного элемента, анодная камера которого была заполнена активным илом сточных вод в анаэробных условиях. Следует отметить, что ячейка, содержащая активный ил, генерировала электрический ток без смены субстрата в течение одного года [17].

Таким образом, полученные результаты позволяют судить о достаточной высокой эффективности использования микроорганизмов для получения биоэлектричества с применением органических субстратов.

Подводя итог, следует отметить, что известно множество направлений использования в народном хозяйстве различных микроорганизмов. Грамотные биотехнологические приемы позволяют делать эти процессы управляемыми, предсказуемыми и, что очень важно, не нарушающими равновесия в среде обитания человека.

#### Список литературы

1. Бактерии производят электричество [Электронный ресурс] // Портал журнала «Наука и жизнь»: сайт. – URL: <http://www.nkj.ru/news/508/> (дата обращения 04.06.2015).
2. Биденко В. Полевой геном Петра Гаряева [Электронный ресурс] // «Русские времена»: сайт. – URL: [http://rustimes.com/blog/post\\_1253226575.html](http://rustimes.com/blog/post_1253226575.html) (дата обращения 04.06.2015).
3. Горчаков В.Ю. Теоретические основы резонансной терапии [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.stezia.com.ua/art9.html> (дата обращения 04.06.2015).
4. Гурвич А.Г., Гурвич Л.Д. Митогенетическое излучение. – М.: Медгиз, 1945. – 284 с.
5. Ильин В.К., Чумаков П.Е., Сафронова С.А. Проблемы и перспективы получения биоэлектричества в условиях космического полета [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://readings.gmik.ru/lecture/2008-problemi-i-perspektivi-polucheniya-bioelektrichstva-v-usloviyah-kosmicheskogo-poleta> (дата обращения 04.06.2015).
6. Космические микробы вырабатывают электричество [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.infoniac.ru/news/Kosmicheskie-mikroby-vyrabatyvayut-elektrichestvo.html> (дата обращения 04.06.2015).
7. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами: учеб. пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. – 2008. – 592 с.
8. Микробы могут производить электричество [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://mcgrp.ru/mikrobyi-mogut-proizvodit-elektrichestvo-article.html> (дата обращения 04.06.2015).
9. Микробы-батарейки: на основе шеванеллы создали мутантов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.socioforum.su/viewtopic.php?f=27&p=2332070> (дата обращения 04.06.2015).

10. Микроорганизмы – в производство энергии [Электронный ресурс]. // Наука и технологии. Экология. сайт. – Режим доступа: <http://neftgaz.ru/science/view/179> (дата обращения 04.06.2015).
11. Кусачева С.А., Чумаков П.Е. Выбор оборудования для микробиологической утилизации органических отходов на основе анаэробной ферментации // Научные технологии в приборостроении и развитии инновационной деятельности в вузе.: тез. Всерос. н.-техн. конф. – М., Изд. МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2007. – С. 103.
12. Нестандартные способы получения электричества [Электронный ресурс]. // Познавательный Интернет-журнал «Умеха – мир самоделок». сайт. – Режим доступа: <http://umeha.3dn.ru/publ/14-1-0-3195> (дата обращения 04.06.2015).
13. Открыты бактерии, питающиеся электричеством [Электронный ресурс]. // Земля. Хроники Жизни. сайт. – Режим доступа: <http://earth-chronicles.ru/news/2014-07-21-68603> (дата обращения 04.06.2015).
14. Ученые выяснили, как бактерии-«батарейки» производят электричество [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://rian.com.ua/world\\_news/20130312/337085230.html](http://rian.com.ua/world_news/20130312/337085230.html) (дата обращения 04.06.2015).
15. Ученые научились делать электричество из бактерий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://cable-plus.ru/news/309-electrichestvo-iz-bakteriy.html> (дата обращения 04.06.2015).
16. Ученые хотят выращивать солнечные батареи из бактерий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.osp.ru/news/articles/2014/12/13040386> (дата обращения 04.06.2015).
17. Теоретическая проработка ресурсосберегающей технологии получения биоэлектричества на основе микробиологической утилизации отходов органического происхождения: отчёт о НИР (промежуточный): № 1.68.10 / КФ МГТУ им. Н.Э. Баумана ; рук. Сафронова С.А.; исполн.: Морозенко М.И. [и др.]. – Калуга, 2010. – 61 с.
18. Черняев С.И. Разработка научно-практических основ биотехнологии новых функциональных молочных продуктов: дис. ... д-ра техн. Наук – М., 2002. – 346 с.
19. Электричество из сточных вод [Электронный ресурс] // Портал журнала «Наука и жизнь»: сайт. – URL: <http://www.nkj.ru/news/23051> (дата обращения 04.06.2015).
20. Bond D.R., Holmes D.E., Tender L.M., Lovley D.R. Electrode-reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments // *Science*. – 2002. – V. 295. – P. 483–485.
21. Katz E., Shipway A.N., Wilner I. Biochemical fuel cells // In *Handbook of fuel cells – Fundamentals, Technology and Application* / Ed. by Vielstich W., Lamm A., Gasteiger H.A., John Wiley & Sons, Ltd. 2003.
22. Potter M. C. Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds // *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* – 1911. – V. 84. – P. 260–276.
23. **References**
1. Bacterii proizvodjat jelektrichestvo [Jelektronnyj resurs] // Portal zhurnala «Nauka i zhizn»: sayt. URL: <http://www.nkj.ru/news/508/> (data obrashhenija 04.06.2015).
2. Bidenko V. Polevoj genom Petra Garjaeva [Jelektronnyj resurs] // «Russkie vremena»: sayt. URL: [http://rustimes.com/blog/post\\_1253226575.html](http://rustimes.com/blog/post_1253226575.html) (data obrashhenija 04.06.2015).
3. Gorchakov V.Ju. Teoreticheskie osnovy rezonansnoj terapii [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.stezia.com.ua/art9.html> (data obrashhenija 04.06.2015).
4. Gurvich A.G., Gurvich L.D. Mitogeneticheskoe izluchenie. M.: Medgiz, 1945. 284 p.
5. Ilin V.K., Chumakov P.E., Safronova S.A. Problemy i perspektivy polucheniya bioelektrichestva v uslovijah kosmicheskogo poleta [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://readings.gmik.ru/lecture/2008-problemi-i-perspektivi-polucheniya-bioelektrichestva-v-uslovijah-kosmicheskogo-poleta> (data obrashhenija 04.06.2015).
6. Kosmicheskie mikroby vyrabatyvajut jelektrichestvo [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.infoniac.ru/news/Kosmicheskie-mikroby-vyrabatyvajut-elektrichestvo.html> (data obrashhenija 04.06.2015).
7. Medicinskaja i biologicheskaja fizika. Kurs lekcij s zadachami: ucheb. posobie / V.N. Fedorova, E.V. Faustov. 2008. 592 p.
8. Mikroby mogut proizvodit jelektrichestvo [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://mcgrp.ru/mikrobyi-mogut-proizvodit-elektrichestvo-article.html> (data obrashhenija 04.06.2015).
9. Mikroby-batarejki: na osnove shevelnyj sozdali mutantov [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.socioforum.ru/viewtopic.php?f=27&p=2332070> (data obrashhenija 04.06.2015).
10. Mikroorganizmy v proizvodstvo jenerгии [Jelektronnyj resurs]. // Nauka i tehnologii. Jekologija. sayt. Rezhim dostupa: <http://neftgaz.ru/science/view/179> (data obrashhenija 04.06.2015).
11. Kusacheva S.A., Chumakov P.E. Vybora oborudovanija dlja mikirobiologicheskoi utilizacii organicheskikh othodov na osnove anajerobnoj fermentacii // Naukoemkie tehnologii v priboro- i mashinostroenii i razvitie innovacionnoj dejatel'nosti v vuze.: tez. Vseros. n.-tehn. konf. M., Izd. MGTU im. N.E. Baumana, 2007. pp. 103.
12. Nestandartnye sposoby polucheniya jelektrichestva [Jelektronnyj resurs]. // Poznavatelnyj Internet-zhurnal «Umeha mir samodelok». sayt. Rezhim dostupa: <http://umeha.3dn.ru/publ/14-1-0-3195> (data obrashhenija 04.06.2015).
13. Otkryty bakterii, pitajushiesja jelektrichestvom [Jelektronnyj resurs]. // Zemlja. Hroniki Zhizni. sayt. Rezhim dostupa: <http://earth-chronicles.ru/news/2014-07-21-68603> (data obrashhenija 04.06.2015).
14. Uchenye vyjasnili, kak bakterii-«batarejki» provodjat jelektrichestvo [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: [http://rian.com.ua/world\\_news/20130312/337085230.html](http://rian.com.ua/world_news/20130312/337085230.html) (data obrashhenija 04.06.2015).
15. Uchenye nauchilis delat jelektrichestvo iz bakterij [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://cable-plus.ru/news/309-electrichestvo-iz-bakteriy.html> (data obrashhenija 04.06.2015).
16. Uchenye hotjat vyrashhivat solnechnye batarei iz bakterij [Jelektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.osp.ru/news/articles/2014/12/13040386> (data obrashhenija 04.06.2015).
17. Teoreticheskaja prarabotka resursosberegajushhej tehnologii polucheniya bioelektrichestva na osnove mikirobiologicheskoi utilizacii othodov organicheskogo proishozhdenija: otchjot o NIR (promezhutochnyj): no. 1.68.10 / KF MGTU im. N.E. Baumana ; ruk. Safronova S.A.; ispoln.: Morozenko M.I. [i dr.]. Kaluga, 2010. 61 p.
18. Chernjaev S.I. Razrabotka nauchno-prakticheskikh osnov biotehnologii novyh funkcionalnyh molochnyh produktov: dis. ... d-ra tehn. Nauk M., 2002. 346 p.
19. Jelektrichestvo iz stochnyh vod [Jelektronnyj resurs] // Portal zhurnala «Nauka i zhizn»: sayt. URL: <http://www.nkj.ru/news/23051> (data obrashhenija 04.06.2015).
20. Bond D.R., Holmes D.E., Tender L.M., Lovley D.R. Electrode-reducing microorganisms that harvest energy from marine sediments // *Science*. 2002. V. 295. pp. 483–485.
21. Katz E., Shipway A.N., Wilner I. Biochemical fuel cells // In *Handbook of fuel cells Fundamentals, Technology and Application* / Ed. by Vielstich W., Lamm A., Gasteiger H.A., John Wiley & Sons, Ltd. 2003.
22. Potter M. C. Electrical effects accompanying the decomposition of organic compounds // *Proc. R. Soc. Lond. B. Biol. Sci.* 1911. V. 84. pp. 260–276.

#### Рецензенты:

Шестаков В.М., д.б.н., профессор, заведующий кафедрой зоотехники, Калужский филиал, РГАУ МСХА им. К.А. Тимирязева, г. Калуга;

Стрельцов А.Б., д.б.н., профессор кафедры ботаники, микробиологии и экологии, Калужский государственный университет им. К.Э. Циолковского, г. Калуга.