

# Вестник биотехнологии и физико-химической биологии имени Ю.А. Овчинникова

## СОДЕРЖАНИЕ

### Колонка главного редактора

К читателям. *Р.Г. Василов*..... 4

### Оригинальные статьи

Йодсодержащие натуральные биологически активные добавки на основе жиров из гидробионтов.

*М.С. Петрова, Н.П. Боева*..... 5

Изучение эффективности использования фильтратов нативных культур в глубинном культивировании штамма *Bacillus anthracis* СТИ-1.

*В.В. Фокина, А.С. Кучеренко, А.Н. Шевцов, С.А. Шевцов, И.Н. Седельников, С.Г. Исупов*..... 11

Получение энергетического сырья с помощью аэробной переработки растительной биомассы отселекционированными дрожжами.

*К.В. Горин, Е.Г. Борисенко*..... 15

Применение метода масс-спектропии с индуктивно связанной аргоновой плазмой для определения элементного состава биомассы штаммов лекарственных растений.

*Л.И. Слепян, И.Е. Каухова, Н.С. Пивоварова, О.Н. Громова, М.В. Яковлева, И.И. Шантырь, М.А. Власенко*..... 21

Оптимизация технологии очистки сточных вод с применением биопрепарата «Универсал».

*М.Ю. Маркарова, Т.Н. Щемелинина, Д.В. Тарабукин, Е.М. Анчугова*..... 28

Использование биопрепарата «Байкал ЭМ-1» для биоконверсии соломы яровой мягкой пшеницы.

*В.Н. Дедков, И.А. Гнеушева, Н.Е. Павловская*..... 33

### Обзоры

Микроводоросли как потенциальный источник сырья для производства биоэтанола.

*З.Б. Намсараев, К.В. Горин, П.М. Готовцев, А.В. Комова, М.А. Ломоносова, В.В. Бутылин, А.А. Шаповалова, Р.Г. Василов*..... 38

Живые организмы как основа биотопливных элементов.

*А.Н. Решетилов, В.К. Утешев, Т.А. Решетилова, Р.Г. Василов*..... 43

Максимальная эффективность конверсии солнечной энергии в биотопливо и пути ее повышения.

*А.В. Комова, З.Б. Намсараев, П.М. Готовцев, К.В. Горин, Г.У. Бадранова, Р.Г. Василов*..... 48

Электрохимическая импедансная спектроскопия в применении к исследованиям микробных биотопливных элементов.

*А.Н. Решетилов, В.В. Емец, А.Н. Клюев, Т.А. Решетилова, Р.Г. Василов*..... 52

Математическое моделирование внутриклеточных процессов.

*П.М. Готовцев, З.Б. Намсараев, К.В. Горин, А.В. Комова, В.В. Бутылин, Г.У. Бадранова, М.А. Ломоносова*..... 59

### Страницы истории

К 10-летию основания Общества биотехнологов России имени Ю.А. Овчинникова..... 72

### Хроника

Некролог. Памяти Фредерика Сенгера (1918–2013)..... 75

Правила для авторов ..... 78

# Yu.A. Ovchinnikov bulletin of biotechnology and physical and chemical biology

## CONTENTS

### Column of the editor-in-chief

To readers. *R.G. Vasilov* ..... 4

### Original articles

- Iodized natural biologically active additives on the basis of oil from hydrobionts.  
*M.S. Petrova, N.P. Boeva*..... 5
- Study of the efficiency of using filtrates of native cultures in a deep-laid cultivation of the strain *Bacillus anthracis* STI-1.  
*V.V. Fokina, A.S. Kucherenko, A.N. Shevtsov, S.A. Shvetsov, I.N. Sedelnikov, S.G. Isupov*..... 11
- Preparation of energy raw materials using aerobic treatment of the plant biomass by means of selectioned yeast.  
*K.V. Gorin, E.G. Borisenko*..... 15
- Application of mass spectrometry with inductively coupled argon plasma to determine the elemental composition of biomass strains of medicinal plants.  
*L.I. Slepyan, I.E. Kaukhova, N.S. Pivovarova, O.N. Gromova, M.V. Yakovleva, I.I. Shantir, M.A. Vlasenko*..... 21
- Optimization of wastewater treatment technologies using biological product «Universal».  
*M.Y. Markarova, T.N. Schemelinina, D.V. Tarabukin, E.M. Anchugova*..... 28
- Using biological product «Baikal EM-1» for the bioconversion of spring wheat straw.  
*V.N. Dedkov, I.A. Gneusheva, N.E. Pavlovskaya* ..... 33

### Reviews

- The potential of microalgae as a source of raw materials for bioethanol production.  
*Z.B. Namsaraev, K.V. Gorin, P.M. Gotovtsev, A.V. Komova, M.A. Lomonosova, V.V. Butylin, A.A. Shapovalova, R.G. Vasilov*..... 38
- Living organisms as the basis elements of biofuel.  
*A.N. Reshetilov, V.K. Uteshev, T.A. Reshetilova, R.G. Vasilov*..... 43
- Maximal efficiency and the ways to increase solar energy conversion in biofuel.  
*A.V. Komova, Z.B. Namsaraev, P.M. Gotovtsev, K.V. Gorin, G.U. Badranova, R.G. Vasilov*..... 48
- Electrochemical impedance spectroscopy applied to research of microbial fuel cells.  
*A.N. Reshetilov, V.V. Emets, A.N. Klyuev, T.A. Reshetilova, R.G. Vasilov*..... 52
- Mathematical modeling of intracellular processes.  
*P.M. Gotovtsev, Z.B. Namsaraev, K.V. Gorin, A.V. Komova, V.V. Butylin, H.W. Badranova, M.A. Lomonosova*..... 59

### Pages of history

On the 10<sup>th</sup> anniversary of the Yu.A. Ovchinnikov Russian biotechnology society ..... 72

### The chronicle

Obituary. Frederick Sanger (1918–2013): in memoriam ..... 75

Rules for authors ..... 78

УДК 664.959

**ЙОДСОДЕРЖАЩИЕ НАТУРАЛЬНЫЕ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫЕ ДОБАВКИ НА  
ОСНОВЕ ЖИРОВ ИЗ ГИДРОБИОНТОВ**

М.С. ПЕТРОВА\*, Н.П. БОЕВА

*ФГУП «Всероссийский научно-исследовательский институт рыбного хозяйства и океанографии»,  
Москва*

Разработаны технологии получения биологически активных добавок к пище на основе жиров гидробионтов с экстрактом морских водорослей, которые содержат полиненасыщенные жирные кислоты омега-3, витамины А и Д, йод. Исследованы жирнокислотный состав данных биологически активных добавок, показатели их качества и безопасности, содержание йода, витаминов А и Д.

*Ключевые слова:* пищевой рыбный жир, пищевой тюлений жир, биологически активные добавки, полиненасыщенные жирные кислоты, морские водоросли.

**C. 5-10**

**IODIZED NATURAL BIOLOGICALLY ACTIVE ADDITIVES ON THE BASIS OF OIL FROM  
HYDROBIONTS**

M.S. PETROVA, N.P. BOEVA

*All-Russian Research Institute of Fisheries and Oceanography, Moscow*

It was developed a technology for production of biologically active food additives on the basis of the oil of hydrobionts with seaweed extract, which contain polyunsaturated fatty acids omega-3, vitamins A and D, iodine. Fatty acid composition of these biologically active additives, their quality and safety, content of iodine, vitamin A and D were investigated.

*Keywords:* food fish oil, food seal oil, biologically active additives, polyunsaturated fatty acids, seaweed.

УДК 576.809.33

**ИЗУЧЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ФИЛЬТРАТОВ НАТИВНЫХ КУЛЬТУР В ГЛУБИННОМ КУЛЬТИВИРОВАНИИ ШТАММА *BACILLUS ANTHRACIS* СТИ-1**

В.В. ФОКИНА\*, А.С. КУЧЕРЕНКО, А.Н. ШЕВЦОВ, С.А. ШВЕЦОВ, И.Н. СЕДЕЛЬНИКОВ, С.Г. ИСУПОВ

*Научно-исследовательский центр Федерального государственного казенного учреждения «33 Центральный научно-исследовательский испытательный институт» Министерства обороны Российской Федерации, Киров*

Показана возможность применения концентрированных фильтратов в культивировании штамма *Bacillus anthracis* СТИ-1 в шуттель-аппарате. Дана сравнительная характеристика нативных культур, приготовленных с применением нескольких фильтратов, в разное время развития культуры.

*Ключевые слова:* фильтрат культуральной жидкости, глубинное культивирование, *Bacillus anthracis*, шуттель-аппарат, жидкая питательная среда.

**C. 11-14**

**STUDY OF THE EFFICIENCY OF USING FILTRATES OF NATIVE CULTURES IN A DEEP-LAID CULTIVATION OF THE STRAIN *BACILLUS ANTHRACIS* STI-1**

V.V. FOKINA, A.S. KUCHERENKO, A.N. SHEVTSOV, S.A. SHVETSOV, I.N. SEDELNIKOV, S.G. ISUPOV

*Research Center of «33 Central Research and Development Testing Institute», RF Ministry of Defense, Kirov*

The possibility of applying of concentrated filtrates in the cultivation of the strain *Bacillus anthracis* STI-1 in the shuttel apparatus was shown. The comparative features of the native cultures prepared in application of several filtrates at various times of the culture progress were given.

*Keywords:* filtrate of the culture broth, deep-laid cultivation, *Bacillus anthracis*, shaker, liquid nutrient medium.

УДК 577.23:622.76

**ПОЛУЧЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО СЫРЬЯ С ПОМОЩЬЮ АЭРОБНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ РАСТИТЕЛЬНОЙ БИОМАССЫ ОТСЕЛЕКЦИОНИРОВАННЫМИ ДРОЖЖАМИ**

К.В. ГОРИН<sup>1\*</sup>, Е.Г. БОРИСЕНКО<sup>2</sup>

*1 Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», 2 ФГБОУ ВПО «Московский государственный университет пищевых производств», Москва*

В работе рассмотрена селекция дрожжей из молока млекопитающих. Проведен ПЦР-анализ для идентификации выделенных штаммов дрожжей, построено филогенетическое дерево. Был получен штамм *Pichia anomala* 9a, способный активно накапливать биомассу на негидролизованном целлюлозосодержащем растительном сырье. Рассмотрена аэробная биоконверсия наиболее перспективных трудно разлагаемых субстратов. Подобраны условия, необходимые для эффективного ведения процесса биоконверсии.

*Ключевые слова:* дрожжи, *Pichia anomala*, селекция дрожжей, целлюлозосодержащее сырье, твердофазная ферментация, биомасса.

**C. 15-20**

**PREPARATION OF ENERGY RAW MATERIALS USING AEROBIC TREATMENT OF THE PLANT BIOMASS BY MEANS OF SELECTIONNED YEAST**

K.V. GORIN<sup>1</sup>, E.G. BORISENKO<sup>2</sup>

*1 National Research Centre «Kurchatov Institute», 2 Moscow State University of Food Production, Moscow*

The paper considers the selection of yeast from mammalian milk. PCR analysis was conducted to identify the selectionned yeast strains. The phylogenetic tree was constructed. The strain *Pichia anomala* 9a was obtained, capable of actively accumulating biomass for non-hydrolyzed cellulose-containing plant material. Aerobic bioconversion of the most promising hard degradable substrates was examined. The conditions necessary for the effective conduct of the bioconversion process were selected.

*Keywords:* yeast, *Pichia anomala*, selection of yeast, cellulose-containing raw materials, solid state fermentation, biomass.

УДК 581.143.6

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАСС-СПЕКТРОСКОПИИ С ИНДУКТИВНО СВЯЗАННОЙ АРГОНОВОЙ ПЛАЗМОЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ЭЛЕМЕНТНОГО СОСТАВА БИОМАССЫ ШТАММОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ РАСТЕНИЙ**

Л.И. СЛЕПЯН<sup>1\*</sup>, И.Е. КАУХОВА<sup>1</sup>, Н.С. ПИВОВАРОВА<sup>1</sup>, О.Н. ГРОМОВА<sup>1</sup>, М.В. ЯКОВЛЕВА<sup>2</sup>,  
И.И. ШАНТЫРЬ<sup>2</sup>, М.А. ВЛАСЕНКО<sup>3</sup>

*1 ГБОУ ВПО «Санкт-Петербургская химико-фармацевтическая академия» Минздрава России, 2 Всероссийский центр экстренной и радиационной медицины им. А.М. Никифорова МЧС России, 3 ГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет», Санкт-Петербург*

Впервые методом масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой (ИСП-МС) проведено изучение макро- и микроэлементного состава биомассы различных штаммов культур тканей: *Rauwolfia serpentina* Benth. (*Apocynaceae*), *Yucca gloriosa* (*Agavaceae*), селективного штамма *Panax ginseng* C.A. Mey. с экстрактом из листьев березы повислой – *Betula pendula* Roth. и селективного штамма *Panax ginseng* C.A. Mey. с экстрактом из корней солодки – *Glycyrrhiza glabra* L. (*Fabaceae*). Установлено наличие всех жизненно важных элементов в исследованных объектах. Анализ полученных данных показал, что в культивируемых *in vitro* штаммах наблюдали большие различия в содержании макро- и микроэлементов.

*Ключевые слова:* культура тканей, лекарственные растения, макро- и микроэлементы, метод масс-спектрометрии с индуктивно связанной аргоновой плазмой.

C. 21-27

**APPLICATION OF MASS SPECTROMETRY WITH INDUCTIVELY COUPLED ARGON PLASMA TO DETERMINE THE ELEMENTAL COMPOSITION OF BIOMASS STRAINS OF MEDICINAL PLANTS**

L.I. SLEPYAN<sup>1</sup>, I.E. KAUKHOVA<sup>1</sup>, N.S. PIVOVAROVA<sup>1</sup>, O.N. GROMOVA<sup>1</sup>, M.V. YAKOVLEVA<sup>2</sup>,  
I.I. SHANTIR<sup>2</sup>, M.A. VLASENKO<sup>3</sup>

*1 Saint-Petersburg State Chemical Pharmaceutical Academy, 2 All-Russian Center of Emergency and Radiation Medicine named after A.M. Nikiforov, 3 Saint-Petersburg State University, Saint-Petersburg*

For the first time the investigation of the macro- and microelements composition of the different biomass the some strains cell culture was performed by the inductively coupled argon plasma mass spectrometry (ICP-MS), i.e. *Rauwolfia serpentina* Benth. (*Apocinaceae*), *Yucca gloriosa* (*Agavaceae*), selective strain of *Panax ginseng* C.A. Mey. with the birch leaf extract – *Betula pendula* Roth. and selective strain of *Panax ginseng* C.A. Mey. with the licorice extract – *Glycyrrhiza glabra* L. (*Fabaceae*). It was found that in these plants all the vital elements are present. The analysis of the obtained data showed quite a difference in the macro- and microelements content.

*Keywords:* tissue culture, medicinal plants, macro- and microelements, method of mass spectrometry with inductively coupled argon plasma.

УДК 579.695

**ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД С ПРИМЕНЕНИЕМ  
БИОПРЕПАРАТА «УНИВЕРСАЛ»**

М.Ю. МАРКАРОВА, Т.Н. ЩЕМЕЛИНИНА\*, Д.В. ТАРАБУКИН, Е.М. АНЧУГОВА

*ФГУН «Институт биологии» Коми научного центра Уральского отделения РАН, Сыктывкар*

Проведено испытание образцов волокнистых материалов и модифицирующих агентов, предназначенных для иммобилизации нефтеокисляющих микроорганизмов биопрепарата «Универсал». Базальтовое волокно оказалось более подходящим фильтрующим материалом, сточная вода очистных сооружений – лучшим модификатором. Установлено, что при применении в очистной системе разработанного биофильтрующего материала очистка сточных вод от нефтепродуктов более эффективна.

*Ключевые слова:* нефтесодержащие сточные воды, иммобилизация микроорганизмов, биофильтры.

**С. 28-32**

**OPTIMIZATION OF WASTEWATER TREATMENT TECHNOLOGIES USING BIOLOGICAL  
PRODUCT «UNIVERSAL»**

M.Y. MARKAROVA, T.N. SCHEMELININA, D.V. TARABUKIN, E.M. ANCHUGOVA

*Institute of Biology, Komi Scientific Center, Ural Branch of RAS, Syktyvkar*

The samples of fibrous materials and modifying agents for immobilization oxidizing microorganisms biological product «Universal» were tested. Basalt fiber was more suitable filter material, waste water treatment plants – the best modifier. It was found that biofilter material designed to treat wastewater from oil is more effective in the purification system.

*Keywords:* oily waste water, immobilization of microorganisms, biofilters.

УДК 602.42:577.152.3

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БИОПРЕПАРАТА «БАЙКАЛ ЭМ-1» ДЛЯ БИОКОНВЕРСИИ СОЛОМЫ ЯРОВОЙ МЯГКОЙ ПШЕНИЦЫ**

В.Н. ДЕДКОВ\*, И.А. ГНЕУШЕВА, Н.Е. ПАВЛОВСКАЯ

*ФГБОУ ВПО «Орловский государственный аграрный университет», Орел*

Изучали возможность применения закваски микробиологического удобрения «Байкал ЭМ-1» в качестве препарата для ферментативного гидролиза целлюлозосодержащего сырья (соломы яровой мягкой пшеницы). Установлено, что переработка соломы яровой мягкой пшеницы с использованием этого биопрепарата позволяет получить кормовые продукты для животноводства с более высоким содержанием сырого протеина и меньшим количеством сырой клетчатки в сравнении с необработанной соломой. Проведены испытания полученной кормовой добавки в бройлерном птицеводстве.

*Ключевые слова:* сельскохозяйственная биотехнология, биоконверсия, целлюлозосодержащее сырье, солома пшеницы, ферментативный гидролиз, биопрепарат «Байкал ЭМ-1», кормовой продукт, птицеводство.

**C. 33-37**

**USING BIOLOGICAL PRODUCT «BAIKAL EM-1» FOR THE BIOCONVERSION OF SPRING WHEAT STRAW**

V.N. DEDKOV, I.A. GNEUSHEVA, N.E. PAVLOVSKAYA

*Orel State Agrarian University, Orel*

The possibility of microbiological fertilizer leaven «Baikal EM-1» as a preparation for enzymatic hydrolysis of cellulose materials (straw of spring wheat) was examined. It was found that processing of spring wheat straw using this biological product provides a feed for livestock products with a higher content of crude protein and crude fiber less in comparison with the untreated straw. The developed feed additive has been tested in broiler poultry.

*Keywords:* agricultural biotechnology, bioconversion of cellulose raw materials, wheat straw, enzymatic hydrolysis, biological product «Baikal EM-1», feedstuff, poultry.



УДК 573.6

**МИКРОВОДОРОСЛИ КАК ПОТЕНЦИАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК СЫРЬЯ ДЛЯ  
ПРОИЗВОДСТВА БИОЭТАНОЛА**З.Б. НАМСАРАЕВ\*, К.В. ГОРИН, П.М. ГОТОВЦЕВ, А.В. КОМОВА, М.А. ЛОМОНОСОВА, В.В.  
БУТЫЛИН, А.А. ШАПОВАЛОВА, Р.Г. ВАСИЛОВ*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва*

В обзорной статье проведен анализ микроводорослей, которые представляют потенциальный интерес в качестве сырья для производства биоэтанола. В настоящее время микроводоросли используются в основном для получения липидов и биодизеля, что создает проблему утилизации остаточной биомассы, содержащей значительное количество крахмала и целлюлозы. Одним из наиболее перспективных путей утилизации остаточной биомассы является сбраживание углеводов до этанола.

*Ключевые слова:* микроводоросли, фотосинтез, сбраживание, углеводы, целлюлоза, крахмал, биоэтанол.

**С. 38-42****THE POTENTIAL OF MICROALGAE AS A SOURCE OF RAW MATERIALS FOR  
BIOETHANOL PRODUCTION**Z.B. NAMSARAEV, K.V. GORIN, P.M. GOTOVTSEV, A.V. KOMOVA, M.A. LOMONOSOVA, V.V.  
BUTYLIN, A.A. SHAPOVALOVA, R.G. VASILOV*National Research Centre «Kurchatov Institute», Moscow*

Analysis of microalgae that can be used as a raw material for bioethanol production is presented. At the present time microalgae are used mainly for lipids and biodiesel production, while the utilization of the residual biomass containing a considerable amount of starch and cellulose becomes a problem. One of the most prospective ways of residual biomass utilization is a fermentation of carbohydrates to ethanol. The basic technologies of ethanol production from microalgal biomass are reviewed.

*Keywords:* microalgae, photosynthesis, fermentation, carbohydrates, cellulose, starch, bioethanol.

УДК 544.6:57

**ЖИВЫЕ ОРГАНИЗМЫ КАК ОСНОВА БИОТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**А.Н. РЕШЕТИЛОВ<sup>1, 3\*</sup>, В.К. УТЕШЕВ<sup>2</sup>, Т.А. РЕШЕТИЛОВА<sup>1</sup>, Р.Г. ВАСИЛОВ<sup>3</sup>

*1 ФГБУН «Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрыбина» РАН, 2 ФГБУН «Институт биофизики клетки» РАН, Пущино-на-Оке; 3 Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва*

В кратком анализе литературных данных приводится оценка современного направления исследований, в котором биотопливные элементы формируются на основе живых организмов (холодно- и теплокровных) и вырабатывают электрическую энергию за счет окисления органических веществ организма. Эти исследования находятся в начальной фазе своего развития. Рассмотрены различные варианты и перспективы этого подхода.

*Ключевые слова:* биотопливные элементы, получение электрической энергии, живой организм, биоинженерия, биоэлектрохимия.

С. 43-47

**LIVING ORGANISMS AS THE BASIS ELEMENTS OF BIOFUEL**A.N. RESHETILOV<sup>1, 3</sup>, V.K. UTESHEV<sup>2</sup>, T.A. RESHETILOVA<sup>1</sup>, R.G. VASILOV<sup>3</sup>

*1 G.K. Scriabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms RAS, 2 Institute of Cell Biophysics RAS, Pushchino, Moscow region; 3 National Research Centre «Kurchatov Institute», Moscow*

In a brief analysis of published data provides an assessment of contemporary research areas in which biofuel elements formed on the basis of living organisms (cold- and warm-blooded) and generate electricity by oxidation of organic substances the body. These studies are in the early phase of its development. Different versions of this approach and perspectives are considered.

*Keywords:* biofuel elements, getting electricity, living organism, bioengineering, bioelectrochemistry.

УДК 573.6.086.83

**МАКСИМАЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОНВЕРСИИ СОЛНЕЧНОЙ ЭНЕРГИИ В  
БИОТОПЛИВО И ПУТИ ЕЕ ПОВЫШЕНИЯ**А.В. КОМОВА, З.Б. НАМСАРАЕВ\*, П.М. ГОТОВЦЕВ, К.В. ГОРИН, Г.У. БАДРАНОВА, Р.Г.  
ВАСИЛОВ*Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва*

В статье приводится обзор опубликованных данных по эффективности конверсии солнечного света в биомассу и путях ее повышения. Теоретические расчеты показывают, что максимальная эффективность конверсии солнечного света в биомассу составляет 11,9%. С учетом потерь на различных этапах фотосинтеза теоретический максимум эффективности составляет 4,6% для растений с С3-типом метаболизма и 6% для растений с С4-типом метаболизма. Максимальные величины первичной продукции органического вещества, зарегистрированные в природных и крупномасштабных искусственных системах, составляют 13–14 г С/м<sup>2</sup>·сутки. Это соответствует приблизительно 1% конверсии энергии солнечного света в биомассу. В экспериментальных условиях при небольших объемах культивирования одноклеточных микроорганизмов может быть достигнута эффективность до 7%.

*Ключевые слова:* эффективность фотосинтеза, первичная продукция, солнечная энергия, биотопливо.

**C. 48-51****MAXIMAL EFFICIENCY AND THE WAYS TO INCREASE SOLAR ENERGY CONVERSION  
IN BIOFUEL**A.V. KOMOVA, Z.B. NAMSARAEV, P.M. GOTOVVTSEV, K.V. GORIN, G.U. BADRANOVA, R.G.  
VASILOV*National Research Centre «Kurchatov Institute», Moscow*

The reported data on the efficiency and the ways to increase solar energy conversion into biomass are reviewed. According to the theoretical calculations maximal efficiency of conversion of solar energy in biomass is 11.9%. With account taken of the losses on stages of photosynthesis theoretical efficiency maximum is 4.6% for the C3-plants and 6% for the C4-plants. Maximal values of primary production in natural and large-scaled artificial systems are 13–14 g C/m<sup>2</sup>·day. It corresponds to 1% solar energy conversion into biomass. In experimental conditions unicellular microorganisms cultivated in small volumes can show efficiency of up to 7%.

*Keywords:* photosynthesis efficiency, primary production, solar energy, biofuel.

УДК: 544.6:57

**ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ ИМПЕДАНСНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ В ПРИМЕНЕНИИ К ИССЛЕДОВАНИЯМ МИКРОБНЫХ БИОТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ**А.Н. РЕШЕТИЛОВ<sup>1, 3\*</sup>, В.В. ЕМЕЦ<sup>2</sup>, А.Н. КЛЮЕВ<sup>2</sup>, Т.А. РЕШЕТИЛОВА<sup>1</sup>, Р.Г. ВАСИЛОВ<sup>3</sup>

*1* ФГБУН «Институт биохимии и физиологии микроорганизмов им. Г.К. Скрябина» РАН, Пушкино-на-Оке; *2* ФГБУН «Институт физической химии и электрохимии им. А.Н. Фрумкина» РАН, *3* Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва

Обзор с использованием собственных исследований. Рассматривается применение электрохимической импедансной спектроскопии в изучении микробных биотопливных элементов (МБТЭ). Электрохимическая импедансная спектроскопия (ЭИС) до настоящего времени являлась, в основном, инструментом для электрохимических исследований, не связанных с применением биологического материала. Вместе с тем ЭИС обеспечивает изучение электрохимических параметров, которые по сути метода могут быть применимы к любому типу материалов – как неорганических, так и органических, в том числе и к биоматериалу. Этот подход является адекватным в изучении электрохимических свойств компонентов биотопливных элементов. Основная мысль, которую хотели подчеркнуть авторы обзора, состоит в том, что развитие тематики БТЭ позволит с помощью ЭИС сделать новые шаги в биоэнергетике. В частности, ЭИС дает возможность оптимизировать работу БТЭ путем разделения и мониторинга отдельных параметров, отвечающих за омические, транспортные и кинетические эффекты в БТЭ.

*Ключевые слова:* электрохимическая импедансная спектроскопия, биотопливные элементы, биоинженерия, биоэлектрохимия.

С. 52-58

**ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY APPLIED TO RESEARCH OF MICROBIAL FUEL CELLS**A.N. RESHETILOV<sup>1, 3</sup>, V.V. EMETS<sup>2</sup>, A.N. KLYUEV<sup>2</sup>, T.A. RESHETILOVA<sup>1</sup>, R.G. VASILOV<sup>3</sup>

*1* G.K. Scriabin Institute of Biochemistry and Physiology of Microorganisms, Pushchino, Moscow region; *2* A.N. Frumkin Institute of Physical Chemistry and Electrochemistry RAS, *3* National Research Centre «Kurchatov Institute», Moscow

In overview with using of their own researches the application of electrochemical impedance spectroscopy in the study of microbial fuel cells (MFC) is considered. Electrochemical impedance spectroscopy (EIS) to date was mainly a tool for electrochemical studies, not involving the use of biological material. However, EIS provides study electrochemical parameters that are essentially the method may be applicable to any type of material – as the non-organic or organic, including a biomaterial. This approach is appropriate in the study of electrochemical properties of the component elements of biofuel. The basic idea that we wanted to emphasize the authors of the review, is that the development of the subject will allow the MFC using EIS to make new steps in bioenergy. In particular, the EIS allows to optimize the MFC by separation and monitoring of individual parameters responsible for ohmic, transport and kinetic effects in the MFC.

*Keywords:* electrochemical impedance spectroscopy, microbial fuel cells, bioengineering, bioelectrochemistry.

УДК 57.087

**МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВНУТРИКЛЕТОЧНЫХ ПРОЦЕССОВ**П.М. ГОТОВЦЕВ\*, З.Б. НАМСАРАЕВ, К.В. ГОРИН, А.В. КОМОВА, В.В. БУТЫЛИН, Г.У.  
БАДРАНОВА, М.А. ЛОМОНОSOVA*НТК биоэнергетики, Национальный исследовательский центр «Курчатовский институт», Москва*

Статья представляет собой обзор и краткий анализ некоторых работ в исследуемой области. Математическое моделирование внутриклеточных процессов на сегодняшний день – динамически развивающееся направление. Ряд научных групп использует разные подходы и принципы для моделирования различных процессов, от отдельных биохимических реакций до клеточного метаболизма. Каждый из применяемых подходов имеет свои преимущества и недостатки и требует различных объемов исходных данных. Рассмотрены некоторые подходы к моделированию внутриклеточных процессов и к структуре моделей клетки в целом.

*Ключевые слова:* математическое моделирование, внутриклеточные процессы, метаболизм, неравновесные процессы, сети Петри.

**C. 59-71****MATHEMATICAL MODELING OF INTRACELLULAR PROCESSES**P.M. GOTOVTSEV, Z.B. NAMSARAEV, K.V. GORIN, A.V. KOMOVA, V.V. BUTYLIN, H.W.  
BADRANOVA, M.A. LOMONOSOVA*NTK Bioenergetics, National Research Centre «Kurchatov Institute», Moscow*

The article presents an overview and a brief analysis of some of the work in the study area. Mathematical modeling of intracellular processes today – dynamically developing area. Several research groups use different approaches and principles for modeling various processes of biochemical reactions specific to cell metabolism. Each of the existing approaches has its advantages and disadvantages, and requires different amounts of initial data. Some approaches to the modeling of intracellular processes and the structure of the cell models in general.

*Keywords:* mathematical modeling, intracellular processes, metabolism, nonequilibrium processes, Petri nets.