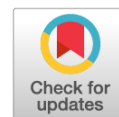


УДК 663.18

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma75842>

Научная статья



ИССЛЕДОВАНИЕ СТИМУЛИРУЮЩЕГО ЭФФЕКТА ЭКЗОМЕТАБОЛИТОВ МИКРОВОДОРОСЛИ *CHLORELLA* *VULGARIS* НА ПРИМЕРЕ МОЛОЧНОКИСЛЫХ БАКТЕРИЙ *BACILLUS COAGULANS*

И.В. Маркин, Е.А. Журбин, П.К. Потапов, Е.С. Щелканова, А.Н. Молодченко, Н.И. Степаненко

Военный инновационный технополис «ЭРА», Анапа, Россия

Резюме. Приведены результаты исследования стимулирующего действия экзометаболитов микроводоросли *Chlorella vulgaris* IPPAS C-2 — индольных соединений, культивируемых на модельном растворе сточных вод. В процессе очистки модельного раствора сточных вод микроводорослью *Chlorella vulgaris* получена биомасса микроводорослей с высоким содержанием липидов (до 50%), при этом остаточные концентрации поллютантов в растворе составили: катионы аммония — 1,5 мг/л, фосфат-анионы — 3,5 мг/л. Остаточная концентрация микроорганизмов в очищенном модельном образце сточных вод не превышает 0,3 млн КОЕ/мл. В растворе также обнаружены факторы роста индольной природы, которые являются внешними метаболитами микроводоросли. Для подтверждения стимулирующего действия накопленных метаболитов очищенные стоки использовались в микробиологическом синтезе молочной кислоты. Контрольным образцом выступала питательная среда на основе экстракта солодовых ростков. Концентрация глюкозы во всех образцах одинакова и составляет 140 г/л. В качестве тест-культуры использовался штамм молочнокислых бактерий *Bacillus coagulans* B-10468. Наибольшая концентрация молочнокислых бактерий (100 млн кл/мл) наблюдалась в образце, содержащем метаболиты микроводорослей. Данная концентрация в 1,7 раза выше, чем в контрольном образце. В дальнейшем скорость роста клеток *Bacillus coagulans* замедлился, так как на 3-и сутки концентрация молочной кислоты достигла предельных значений 30–50 г/л, что способствовало ингибированию роста клеток бактерий. Использование стимулятора роста на основе очищенных сточных вод микроводорослями при культивировании бактерий вида *Bacillus coagulans* B-10468 увеличивает удельную скорость накопления биомассы бактерий (0,27 сут⁻¹), что на 26% больше чем в контрольном образце; увеличивает выход молочной кислоты (120 г/л) на 25% по сравнению с традиционным стимулятором — солодовыми ростками. Получение молочной кислоты с использованием стимуляторов роста, полученных в результате очистки сточных вод микроводорослями, позволит сократить затраты на ее производство. Использование данного технологического решения предоставит возможность снизить себестоимость полимера полилактида, одного из основных материалов для аддитивных технологий.

Ключевые слова: микроводоросли; бактерии; полилактид; молочная кислота; культуральная жидкость; сточные воды; солодовые ростки; аддитивные технологии.

Как цитировать:

Маркин И.В., Журбин Е.А., Потапов П.К., Щелканова Е.С., Молодченко А.Н., Степаненко Н.И. Исследование стимулирующего эффекта экзометаболитов микроводоросли *Chlorella vulgaris* на примере молочнокислых бактерий *Bacillus coagulans* // Вестник Российской военно-медицинской академии. 2021. Т. 23, № 4. С. 187–194. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma75842>

DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma75842>

Scientific article

THE STIMULATING EFFECTS OF EXOMETABOLITES OF MICROALGAE *CHLORELLA VULGARIS* ON THE LACTIC ACID BACTERIA *BACILLUS COAGULANS*

I.V. Markin, E.A. Zhurbin, P.K. Potapov, E.S. Shchelkanova, A.N. Molodchenko, N.I. Stepanenko

Military Innovative Technopolis "ERA", Anapa, Russia

ABSTRACT: This study aimed to determine the stimulating effect of exometabolites of microalgae *Chlorella Vulgaris* IPPAS C-2 — indole compounds that are cultured on wastewater model solution. The purification process of a model wastewater solution with *Chlorella Vulgaris* microalgae obtained biomass of microalgae with a high lipid content (up to 50%), whereas the residual concentrations of pollutants in the solution were ammonium cations of 1.5 mg/l and phosphate anions of 3.5 mg/l. The residual concentration of microorganisms in the purified model sample of wastewater does not exceed 0.3 million CFU/ml. Growth factors of indole nature, which are external metabolites of microalgae, were also found in the solution. Purified effluents were used in the microbiological synthesis of lactic acid to confirm the stimulating effect of accumulated metabolites. The control sample was a nutrient medium based on malt germ extract. The glucose concentration in all samples is the same and is 140 g/l. A strain of lactic acid bacteria *Bacillus coagulans* B-10468 was used as a test culture. The highest concentration of lactic acid bacteria (100 million cells/ml) was observed in a sample containing microalgae metabolites. This concentration is 1.7 times higher than in the control sample. In the future, the growth rate of *Bacillus coagulans* cells slowed down since the concentration of lactic acid reached the limit values of 30–50 g/l on the 3rd day, which contributed to the bacterial cell growth inhibition. The use of a growth stimulator based on treated wastewater by microalgae in the cultivation of bacteria of the species *Bacillus coagulans* B-10468 increases the specific rate of accumulation of bacterial biomass (0.27 day^{-1}), which is 26% more than in the control sample; increases the yield of lactic acid (120 g/l) by 25% compared with the traditional stimulant — malt sprouts. The lactic acid production using growth stimulants from wastewater treatment with microalgae will reduce the cost of its production. The use of this technological solution will provide an opportunity to reduce the cost of polymer, polylactide, which is one of the main materials for additive technologies.

Keywords: microalgae; bacteria; polylactide; lactic acid; culture fluid; sewage; malt sprouts; additive technologies.

To cite this article:

Markin IV, Zhurbin EA, Potapov PK, Shchelkanova ES, Molodchenko AN, Stepanenko NI. The stimulating effects of exometabolites of microalgae *Chlorella vulgaris* on the lactic acid bacteria *Bacillus coagulans*. *Bulletin of the Russian Military Medical Academy*. 2021;23(4):187–194. DOI: <https://doi.org/10.17816/brmma75842>

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время происходит прогрессивное развитие аддитивных технологий. Ведущая роль данной отрасли отведена технологии 3D-печати, которая получила широкое распространение по причине своей эффективности, высокой скорости печати и доступности. В качестве исходного материала для выполнения 3D-печати используются полимеры, различные металлы, керамика. Наибольшее распространение среди полимеров в сфере аддитивных технологий получили продукт сополимеризации трех мономеров: акрилонитрила, бутадиена и стирола (АБС-пластик) — и полилактид [1–3].

Полилактид по технологическим качествам не уступает традиционным видам пластмассы и при этом является экологически чистым материалом, который полностью разлагается при грамотном компостировании. Сырьем для производства полилактида и одновременно ограничивающим фактором его получения и использования в Российской Федерации является молочная кислота *L*-формы. Мировой рынок молочной кислоты на 2015 г. составил 354 тысячи тонн. Из них около 120 тысяч тонн приходилось на Северную Америку, 98 тысяч тонн на Европу и Ближний Восток и 106 тысяч тонн на Азиатский регион. В России по данным на 2019 год объем рынка молочной кислоты составил 5248 тонн, 99% которого является импортом из зарубежных стран. Россия в данной отрасли промышленности лишь начинает свое развитие, поэтому зависимость российского рынка от импорта не только ставит его стабильность под угрозу, но и не стимулирует развитие смежных рынков, которые потребляют молочную кислоту.

В настоящее время для промышленного производства молочной кислоты используются штаммы молочнокислых бактерий, способные синтезировать молочную кислоту *L*-формы, усваивая в процессе жизнедеятельности сбраживаемые сахара [4]. Выход молочной кислоты из сбраживаемого сахара может достигать 95%. Этот вид бактерий является факультативным анаэробом, не способен к синтезу индольных веществ, растет на культуральных средах, содержащих моно-, ди- и полисахариды.

Для синтеза молочной кислоты молочнокислые бактерии помимо источников углерода нуждаются в азоте, фосфоре, железе, цинке, марганце, кобальте и др., недостаток этих элементов в составе питательной среды значительно сказывается на процессах метаболизма клеток: дефицит азота снижает скорость размножения клеток, дефицит фосфорсодержащих соединений — к замедлению биотрансформации углеродсодержащего субстрата [5].

Одним из путей снижения стоимости производства молочной кислоты является поиск новых стимуляторов роста микроорганизмов—продуцентов молочной кислоты. Перспективным источником стимулирующих веществ, витаминов и микроэлементов для молочнокислых

бактерий может выступать культуральная жидкость, полученная при культивировании микроводоросли *C. vulgaris* на модельном растворе сточных вод. Он в своем составе содержит стимуляторы роста — вещества индольной природы, в частности индол-3-уксусную кислоту (ИУК), — аминокислоты, витамины группы В, кобальт, медь, марганец, молибден, железо, цинк, йод [6, 7]. Возможность интеграции производства молочной кислоты с технологиями по очистке сточных вод позволит снизить себестоимость молочной кислоты в результате экономии затрат на воду, энергию и компоненты питательных сред и, как следствие, увеличить объемы производства полилактида.

Цель исследования — изучение стимулирующего эффекта метаболитов микроводоросли *C. vulgaris* на кинетику накопления биомассы молочнокислых бактерий и, как следствие, целевого продукта — молочной кислоты.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве продуцента молочной кислоты использовался штамм *Bacillus coagulans* В-10468 Всероссийской коллекции промышленных микроорганизмов (ВКПМ), источником стимулирующих веществ служил фильтрат микроводорослей вида *Chlorella vulgaris* IPPAS С-2.

В качестве основы питательной среды для роста молочнокислых бактерий использовался модельный раствор сточных вод, очищенных микроводорослями, источником стимулирующих веществ были экзометаболиты, выделяемые микроводорослями во внешнюю среду в процессе очистки, а источником углерода служила глюкоза. В качестве контроля использовалась питательная среда с использованием стерильной воды, глюкозы и экстракта солодовых ростков [9].

Процесс очистки модельного раствора сточных вод осуществлялся при следующих условиях: температура 20 °С, уровень освещенности 7 клк с фотопериодом 24 ч, аэрация газо-воздушной смесью с содержанием углекислого газа 0,03%, уровень pH 7, количество вносимого посевного материала (концентрированная суспензия микроводорослей): на каждый миллион колониеобразующих единиц микрофлоры сточных вод вносилось 2 миллиона клеток микроводорослей. Очистка модельного раствора продолжалась в течение 11 суток в зависимости от условий культивирования. Конечная концентрация ИУК составила $9,8 \times 10^{-8}$ М.

Посевной материал представлял собой суспензию клеток чистой культуры штамма *B. coagulans* ВКПМ В-10468, полученную смывом стерильной водой клеток бактерий со скошенной агаризованной среды Лурия. Формула С-моля бактериальной биомассы имеет вид: $\text{CH}_{1,56}\text{O}_{0,28}\text{N}_{0,19}$ [10], из чего было выдвинуто предположение, что соотношение С:N в питательной среде должно быть приблизительно 5:1. При проектировании состава питательных сред учитывалось, что часть углерода расходуется на построение

Таблица 1. Состав питательных сред для синтеза молочной кислоты молочнокислыми бактериями штамма *B. coagulans* ВКПМ В-10468**Table 1.** Composition of nutrient media for lactic acid synthesis by lactic acid bacteria of *B. coagulans* strain VKPM V-10468

Источник углерода	Источник стимулирующих веществ	Вода	pH
Глюкоза — 300 мл (сбраживаемые сахара, в пересчете на глюкозу — концентрация 140 г/л)	Модельный раствор сточных вод, очищен- ных штаммом <i>C. vulgaris</i> Beijer (IPPAS C-2)	Модельный раствор сточных вод, очищен- ных штаммом <i>C. vulgaris</i> Beijer (IPPAS C-2)	7
	Экстракт солодовых ростков 25% (об.)	Стерильная вода	7

клеток, а часть на биосинтез молочной кислоты, потому углерод был взят в небольшом избытке. В табл. 1 представлены варианты питательных сред, использованных для биосинтеза молочной кислоты.

Биосинтез проводился в орбитальном шейкере-инкубаторе Biosen ES-20/60 (частота 100 мин⁻¹) при следующих условиях: температура: 52°C, начальный уровень pH: 7, количество посевного материала: 20% (об.) от культуральной среды, титр посевного материала: 700–900 млн кл/мл, время культивирования: 100 ч.

Уровень pH определялся потенциометрически с использованием pH-метра «Эксперт 001» фирмы «Эко-никс» (Россия). Концентрация глюкозы и молочной кислоты в культуральной жидкости определялась с использованием анализатора Biosen C-line фирмы EKF Diagnostics (Германия). Удаление клеток микроводорослей из очищенного модельного раствора сточных вод осуществлялось с использованием центрифуги Sigma (Германия) (1500 об/мин в течение 3 мин). Определение общего микробного числа осуществлялось методом Коха.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате очистки модельного раствора сточных вод микроводорослями *C. vulgaris* IPPAS C-2 была получена биомасса микроводорослей с содержанием липидов до 50% от сухого вещества клеток и вода, содержащая катионы аммония не более 1,5 мг/л, фосфат-анионы не более 3,5 мг/л, микрофлору не более 0,3 млн КОЕ/мл, внеклеточные метаболиты микроводорослей (вещества липидной природы, вещества стимулирующего действия) [11]. Эффект гибели микрофлоры достигается за счет выделения клетками микроводорослей в процессе культивирования веществ, проявляющих антибиотические свойства. Это вещества липидной природы, содержащие ненасыщенные жирные кислоты. Такие соединения являются лабильными реакционными соединениями и под действием света, который необходим для культивирования микроводорослей, в результате свободнорадикального окисления образуют токсичные производные, угнетающие рост микрофлоры модельного раствора сточных вод. Угнетение роста микроводорослей не происходило, так как в процессе эволюции у фотосинтетиков сформировалась защитная реакция

на действие перекисей, кетонов, альдегидов, образующихся из ненасыщенных липидов под действием света и кислорода [10–13]. Клетки фотосинтетиков начинают активно синтезировать антиоксиданты (токоферолы, каротиноиды), которые реагируют с активными перекисными радикалами и позволяют клеткам микроводорослей сохранить жизнеспособность [14, 15]. Бактерии микрофлоры сточных вод в процессе жизнедеятельности не подвергаются сильному воздействию светового излучения; их антиоксидантная система менее развита, потому активные перекисные радикалы атакуют молекулы белков и нуклеиновых кислот, окисляют липиды цитоплазматической мембраны, что приводит к нарушению метаболизма и гибели бактерий, присутствующих в сточных водах.

Анализ результатов исследования (рис. 1) позволил сделать вывод, что наибольшая концентрация молочнокислых бактерий (100 млн кл/мл) была достигнута на 3-и сутки культивирования на питательной среде, в которой в качестве стимулирующих веществ использовалась культуральная жидкость микроводорослей *C. vulgaris* (очищенный модельный раствор сточных вод). Концентрация клеток в среднем в 1,7 раза выше, чем в контрольном образце, в котором в качестве источника стимулирующих веществ использовался экстракт солодовых ростков. После 3-их суток культивирования рост клеток молочнокислых бактерий замедлялся, так как к этому времени в культуральной жидкости наблюдалось значительное содержание молочной кислоты 30–50 г/л, ингибирующей рост клеток.

Максимальная концентрация целевого продукта (рис. 2) наблюдалась на 5-е сутки культивирования с фильтратом культуральной жидкости *C. vulgaris* и составила 120 г/л. В среднем при использовании в качестве источника стимулирующих веществ фильтрата культуральной жидкости микроводорослей по сравнению с контролем (солодовые ростки) концентрация молочной кислоты в культуральной жидкости возрастает на 20%. Это можно объяснить тем, что в фильтрате культуральной жидкости микроводорослей присутствуют вещества, стимулирующие рост молочнокислых бактерий (вещества индольной природы), витамины группы В — пиридоксин, тиамин, рибофлавин, которые интенсифицируют реакции синтеза белков и образование пирувата, что позволяет клеткам активнее делиться и накапливать

молочную кислоту [16]. При этом подавления роста молочнокислых бактерий из-за действия экзометаболитов микроводорослей не наблюдается, так как их культивирование происходит без светового излучения.

Анализ кинетики убыли глюкозы (рис. 3) позволяет сделать вывод, что этот углеродный субстрат усваивается клетками приблизительно с одинаковой скоростью в течение всего времени культивирования.

Данный факт объясняется тем, что глюкоза необходима как для размножения клеток и поддержания их нормальной жизнедеятельности, так и для синтеза молочной кислоты. Максимальное усвоение глюкозы наблюдалось при культивировании вида *B. coagulans*

на модельном растворе сточных вод, очищенных микроводорослями, и составляло 93% (табл. 2).

Из данных таблицы 2 видно, что использование фильтрата модельного раствора сточных вод в качестве стимулятора роста бактерий, по сравнению с контрольным образцом, приводит к увеличению удельной скорости накопления биомассы на 26%, что, в свою очередь, напрямую влияет на скорость накопления молочной кислоты, которая увеличивается на 21%. Выход молочной кислоты при использовании фильтрата составил 120 г/л, что на 25% выше результата, полученного при использовании солодовых ростков.

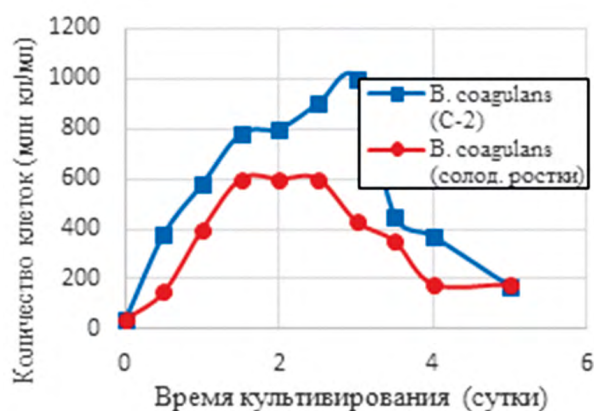


Рис. 1. Кинетика накопления биомассы
Fig. 1. Biomass accumulation kinetics



Рис. 2. Кинетика накопления молочной кислоты
Fig. 2. Lactic acid accumulation kinetics

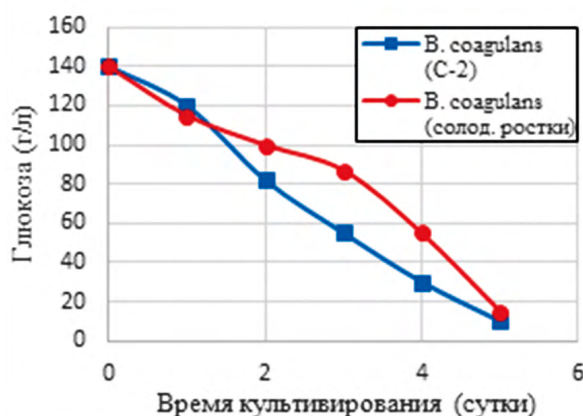


Рис. 3. Кинетика убыли углеродсодержащего субстрата
Fig. 3. Carbon substrate loss kinetics

Таблица 2. Контрольные показатели результатов культивирования молочнокислых бактерий на питательных средах с использованием модельного раствора сточных вод и солодовых ростков

Table 2. Control indicators of culturing results of lactic acid bacteria on nutrient media using the model solution of wastewater and malt sprouts

Субстрат	Скорость потребления глюкозы, г/л*сут	Скорость накопления молочной кислоты, г/л*сут	Процент конверсии глюкозы	Удельная скорость накопления биомассы, сут ⁻¹	Накопленная молочная кислота, г/л
<i>C. vulgaris</i> IPPAS C-2	26	24	92,86	0,27	120
Солодовые ростки	25	19	89,29	0,20	95

Таким образом, проведенные исследования позволяют говорить о перспективности и рентабельности использования для культивирования молочнокислых бактерий модельного раствора сточных вод, очищенного микроводорослями *C. vulgaris*.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлена целесообразность использования вытяжки *C. vulgaris* для выращивания молочнокислых бактерий взамен традиционно применяемым питательным средам. Показано, что использование модельного раствора муниципальных сточных вод, очищенных клетками микроводорослей *C. vulgaris* (штамм Beijer (IPPAS C-2)) в качестве питательной

среды для роста молочнокислых бактерий позволяет повысить концентрацию клеток бактерий в среднем в 1,7 раза, а концентрацию молочной кислоты в культуральной жидкости на 21% (масс.) по сравнению с контрольным образцом.

Следовательно, использование для культивирования бактерий вида *B. coagulans* модельного раствора сточных вод, очищенного микроводорослями *C. vulgaris*, позволяет сохранить жизнедеятельность микробиологических штаммов, обеспечить их нормальный рост и увеличение скорости накопления молочной кислоты. Использование стимулятора роста, описанного в исследовании, увеличит скорость накопления биомассы, позволит снизить стоимость производства молочной кислоты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wang X., Jiang M., Zhou Z., et al. 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*. 2017;110:442–458. DOI: 10.1016/j.compositesb.2016.11.034
2. Rose L. On the degradation of porous stainless steel in low and intermediate temperature solid oxide fuel cell support materials [dissertation]. Vancouver: University of British Columbia, 2011. 307 p. DOI: 10.14288/1.0071732
3. Galante R., Figueiredo-Pina C., Serro A. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. *Dental Materials*. 2019. Vol. 35, No. 6. P. 825–846. DOI: 10.1016/j.dental.2019.02.026
4. Ma K., Hu G., Pan L., et al. Highly efficient production of optically pure L-lactic acid from corn stover hydrolysate by thermophilic *Bacillus coagulans*. *Bioresource Technology*. 2016. Vol. 219. P. 114–122. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.07.100
5. Zhou J., Ouyang J., Xu Q., et al. Cost-effective simultaneous saccharification and fermentation of L-lactic acid from bagasse sulfite pulp by *Bacillus coagulans* CC17. *Bioresource Technology*. 2016. Vol. 222. P. 431–438. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.09.119
6. Беспоместных К.В., Галстян А.Г., Короткая Е.В. Исследование биохимических и морфологических свойств штаммов бактерий рода *Lactobacillus* // Техника и технология пищевых производств. 2011. Т. 3, № 2. С. 94–98.
7. Дворецкий Д.С., Темнов М.С., Маркин И.В. Оценка комплексного использования сточных вод для биосинтеза липидов и молочной кислоты // Вопросы современной науки и практики. 2017. № 3. С. 9–16.
8. Дворецкий Д.С., Зюзина О.В., Маркин И.В., и др. Совершенствование условий биосинтеза молочной кислоты лактобактериями // Вестник Казанского технологического университета. 2017. Т. 8, № 8. С. 126–130.
9. Маркин И.В., Санталов Р.Д., Бушковская А.И., и др. Культивирование микроводоросли *Chlorella vulgaris* на городских сточных водах // X Всероссийская научно-практическая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых с международным участием. Саратов. Сентябрь 28–30, 2017.
10. Baglieri A., Sidella S., Barone V., et al. Cultivating *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus quadricauda* microalgae to degrade inorganic compounds and pesticides in water // *Environmental Science and Pollution Research*. 2016. Vol. 23, No. 18. P. 18165–18174. DOI: 10.1007/s11356-016-6996-3
11. Amaro H.M., Guedes A.C., Malcata F.X. Antimicrobial activities of microalgae: an invited review // Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances. 2011.
12. Дворецкий Д.С. Основы биоэнергетики [CD ROM]. Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2018.
13. Гольдин Е.Б., Гольдина В.Г. Антибактериальные свойства метаболитов водорослей в модельных экспериментах // Альгология. 1999. Т. 2. С. 34.
14. Маркин И.В. Использование микроводоросли *Chlorella vulgaris* для очистки сточных вод // Всероссийский открытый конкурс студентов вузов и молодых исследователей «Взгляд молодых на проблемы региональной экономики». Тамбов. Октябрь 16–17. 2017. Режим доступа: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=499435&lang=ru> Дата обращения: 10.12.21.
15. Wang L., Chen X., Wang H., et al. *Chlorella vulgaris* cultivation in sludge extracts from 2,4,6-TCP wastewater treatment for toxicity removal and utilization // *Journal of Environmental Management*. 2017. Vol. 187. P. 146–153. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.11.020
16. Ghasemi Y. Antifungal and Antibacterial Activity of the Microalgae Collected from Paddy Fields of Iran: Characterization of Antimicrobial Activity of *Chroococcus disperses* // *Journal of Biological Sciences*. 2007. Vol. 7, No. 6. P. 904–910. DOI: 10.3923/jbs.2007.904.910

REFERENCES

1. Wang X, Jiang M, Zhou Z, et al. 3D printing of polymer matrix composites: A review and prospective. *Composites Part B: Engineering*. 2017;110:442–458. DOI: 10.1016/j.compositesb.2016.11.034
2. Rose L. On the degradation of porous stainless steel in low and intermediate temperature solid oxide fuel cell support materials [dissertation]. Vancouver: University of British Columbia; 2011. 307 p.
3. Galante R, Figueiredo-Pina C, Serro A. Additive manufacturing of ceramics for dental applications: A review. *Dental Materials*. 2019;35(6):825–846. DOI: 10.1016/j.dental.2019.02.026
4. Ma K, Hu G, Pan L, et al. Highly efficient production of optically pure L-lactic acid from corn stover hydrolysate by thermophilic *Bacillus coagulans*. *Bioresource Technology*. 2016;219:114–122. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.07.100
5. Zhou J, Ouyang J, Xu Q, et al. Cost-effective simultaneous saccharification and fermentation of L-lactic acid from bagasse sulfite pulp by *Bacillus coagulans* CC17. *Bioresource Technology*. 2016;222:431–438. DOI: 10.1016/j.biortech.2016.09.119
6. Bepomestnyh KV, Galstjan AG, Korotkaja EV. Issledovanie biohimicheskikh i morfologicheskikh svoystv shtammov bakterij roda *Lactobacillus*. *Tekhnika i tehnologija pishhevyh proizvodstv*. 2011;3(2):94–98. (In Russ.).
7. Dvoreckij DS, Temnov MS, Markin IV. Ocenka kompleksnogo ispol'zovaniya stochnyh vod dlja biosinteza lipidov i molochnoj kisloty. *Voprosy sovremennoj nauki i praktiki*. 2017;(3):9–16. (In Russ.).
8. Dvoreckij DS, Zjuzina OV, Markin IV, et al. Sovershenstvovanie uslovij biosinteza molochnoj kisloty laktobakterijami. *Vestnik Kazanskogo tehnologicheskogo universiteta*. 2017;8(8):126–130. (In Russ.).
9. Markin IV, Santalov RD, Bushkovskaja AI, et al. Kul'tivirovanie mikrovdorosli *Chlorella vulgaris* na gorodskih stochnyh vodah. In: Vserossijskaja nauchno-prakticheskaja konferencija studentov, aspirantov i molodyh uchenyh s mezhdunarodnym uchastiem. Sep. 28–30, 2017.. (In Russ.).
10. Baglieri A, Sidella S, Barone V, et al. Cultivating *Chlorella vulgaris* and *Scenedesmus quadricauda* microalgae to degrade inorganic compounds and pesticides in water. *Environmental Science and Pollution Research*. 2016;23(18):18165–18174. DOI: 10.1007/s11356-016-6996-3
11. Amaro HM, Guedes AC, Malcata FX. Antimicrobial activities of microalgae: an invited review. In: Science against microbial pathogens: communicating current research and technological advances. 2011.
12. Dvoreckij DS. Osnovy bioenergetiki [CD ROM]. Tambov: TGTU; 2018. (In Russ.).
13. Gol'din EB, Gol'dina VG. Antibakterial'nye svoystva metabolitov vdoroslej v model'nyh jeksperimentah. *Al'gologija*. 1999;2:34. (In Russ.).
14. Markin IV. Ispol'zovanie mikrovdorosli *Chlorella vulgaris* dlja ochistki stochnyh vod. In: Vserossijskij otkrytyj konkurs studentov vuzov i molodyh issledovatelej "Vzgljad molodyh na problemy regional'noj jekonomiki". Tambov. Oct. 16–17, 2017 (In Russ.). Available from: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=499435&lang=ru>
15. Wang L, Chen X, Wang H, et al. *Chlorella vulgaris* cultivation in sludge extracts from 2,4,6-TCP wastewater treatment for toxicity removal and utilization. *Journal of Environmental Management*. 2017;187:146–153. DOI: 10.1016/j.jenvman.2016.11.020
16. Ghasemi Y. Antifungal and Antibacterial Activity of the Microalgae Collected from Paddy Fields of Iran: Characterization of Antimicrobial Activity of *Chroococcus dispersus*. *Journal of Biological Sciences*. 2007;7(6):904–910. DOI: 10.3923/jbs.2007.904.910

ОБ АВТОРАХ

***Илья Владимирович Маркин**, кандидат технических наук; e-mail: ilya.markin.92@bk.ru; ORCID: 0000-0002-0867-3838 SPIN-код: 6021-7645; Scopus Author ID: 57198886746

Евгений Александрович Журбин, кандидат медицинских наук; e-mail: zhurbn-90@mail.ru; ORCID: 0000-0002-0867-3838; SPIN-код: 8426-1354; Scopus Author ID: 57198886746

Петр Кириллович Потапов, кандидат медицинских наук; e-mail: footballprospb@gmail.com; SPIN-код: 5979-4490

Елена Сергеевна Щелканова, кандидат биологических наук; e-mail: shchelkanova_el@mail.ru; ORCID: 0000-0003-0672-8820; SPIN-код: 8396-0602; Scopus Author ID: 35280517700

AUTHORS INFO

***Ilya V. Markin**, head of research laboratory; e-mail: ilya.markin.92@bk.ru; ORCID: 0000-0002-0867-3838; SPIN code: 6021-7645; Scopus Author ID: 57198886746

Evgeny A. Zhurbn, head of department; e-mail: zhurbn-90@mail.ru; ORCID iD: 0000-0002-0867-3838; SPIN код: 8426-1354; Scopus Author ID: 57198886746

Piotr K. Potapov, deputy head of department; e-mail: footballprospb@gmail.com; SPIN code: 5979-4490

Elena S. Shchelkanova, candidate of biological sciences; e-mail: shchelkanova_el@mail.ru; ORCID: 0000-0003-0672-8820; SPIN-код: 8396-0602; Scopus Author ID: 35280517700

Александр Николаевич Молодченко, начальник лаборатории

Никита Ильич Степаненко, старший оператор;
e-mail: ni-stepanenko@yandex.ru

Alexander N. Molodchenko, head of the laboratory

Nikita I. Stepanenko, senior operator;
e-mail: ni-stepanenko@yandex.ru