

Научно-исследовательский журнал «*Chemical Bulletin*»

<https://cb-journal.ru>

2025, Том 8, № 4 / 2025, Vol. 8, Iss. 4 <https://cb-journal.ru/archives/category/publications>

Научная статья / Original article

УДК 544.723.21

DOI: 10.58224/2619-0575-2025-8-4-9

Сорбционные характеристики бактериальной целлюлозы, полученной из симбиотической культуры *Medusomyces gisevii*

¹ Круть У.А.,
¹ Шайдорова Г.М. *,
¹ Автина Н.В.,
¹ Выросткова А.А.,
¹ Миронова Н.А.,
¹ Потапова М.С.,

¹ Белгородский государственный научный исследовательский университет,
* Ответственный автор E-mail: shaydorova@bsu.edu.ru

Аннотация: исследованы структурные и сорбционные характеристики бактериальной целлюлозы (БЦ), синтезированной симбиотической культурой чайного гриба *Medusomyces gisevii* на питательных средах с различными источниками углерода (3% сахароза, 6% сахароза, 6% меласса). Установлено, что максимальный удельный выход биомассы БЦ наблюдается при использовании 6% мелассы (11.807 г/г), в то время как наибольшее содержание чистой целлюлозы зафиксировано в среде с 6% сахарозой (3.81%). Методами сканирующей электронной микроскопии и газоадсорбционного анализа показано, что лиофилизированные образцы БЦ обладают развитой макропористой структурой. Изучена сорбционная способность материалов в отношении катионного красителя метиленового голубого. Установлено, что лиофилизированная БЦ обладает значительно более высокой сорбционной емкостью (22.809 мг/г) по сравнению с нативной пленкой, высушенной конвективным способом (11.689 мг/г). Показана перспективность использования бактериальной целлюлозы в качестве основы для сорбционных материалов и функциональных носителей.

Цели: исследование влияния условий культивирования и методов сушки на структурно-морфологические и адсорбционные характеристики бактериальной целлюлозы.

Методы. Для культивирования использовали питательные среды с вариацией источника углерода. Структуру образцов изучали с помощью сканирующего электронного микроскопа Nova NanoSem 450 (FEI Company, США) и газоадсорбционного анализатора TriStar II 3020 (Micromeritics, США). Сорбционную емкость определяли с использованием спектрофотометра Nabi (MicroDigital Co., Республика Корея) по поглощению метиленового голубого из водного раствора.

Результаты. Установлены оптимальные условия культивирования для максимального выхода биомассы и содержания целлюлозы. Выявлено, что метод лиофильной сушки позволяет получить материал с высокой удельной поверхностью и развитой пористой структурой, что обуславливает его повышенную сорбционную активность.

Выводы. Бактериальная целлюлоза, в особенности её лиофилизированная форма, демонстрирует высокий потенциал в качестве эффективного и биосовместимого сорбента, а также перспективного носителя активных веществ и медицинских препаратов.

Ключевые слова: бактериальная целлюлоза, чайный гриб, *Medusomyces gisevii*, адсорбция, метиленовый синий, сорбционная емкость, лиофилизация

Для цитирования: Круть У.А., Шайдорова Г.М., Автина Н.В., Выросткова А.А., Миронова Н.А., Потапова М.С. Сорбционные характеристики бактериальной целлюлозы, полученной из симбиотической культуры *Medusomyces gisevii* // Chemical Bulletin. 2025. Том 8. № 4. 9. DOI: 10.58224/2619-0575-2025-8-4-9

Поступила в редакцию: 7 сентября 2025 г.; Одобрена после рецензирования: 11 ноября 2025 г.; Принята к публикации: 14 декабря 2025 г.

Sorption characteristics of bacterial cellulose obtained from the symbiotic culture of *Medusomyces gisevii*

¹ Krut U.A.,
¹ Shaidorova G.M.,
¹ Avtina N.V.,
¹ Vyrostkova A.A.,
¹ Mironova N.A.,
¹ Potapova M.S.,

¹ Belgorod State Scientific Research University,

* Corresponding author E-mail: shaydorova@bsu.edu.ru

Abstract: The structural and sorption characteristics of bacterial cellulose (BC) synthesized by the symbiotic culture of *Kombucha Medusomyces gisevii* in nutrient media with different carbon sources (3% sucrose, 6% sucrose, 6% molasses) were studied. It was found that the maximum specific yield of BC biomass was observed when using 6% molasses (11.807 g/g), while the highest content of pure cellulose was recorded in a medium with 6% sucrose (3.81%). Scanning electron microscopy and gas adsorption analysis showed that lyophilized BC samples have a developed macroporous structure. The sorption capacity of the materials with respect to the cationic dye methylene blue was studied. It was found that lyophilized BC possesses a significantly higher sorption capacity (22.809 mg/g) compared to the native film dried by convection (11.689 mg/g). The potential of using bacterial cellulose as a basis for sorption materials and functional carriers is demonstrated.

Objectives: study of the influence of cultivation conditions and drying methods on the structural, morphological and adsorption characteristics of bacterial cellulose.

Methods. Nutrient media with varying carbon sources were used for cultivation. Sample structure was examined using a Nova NanoSem 450 scanning electron microscope (FEI Company, USA) and a TriStar II 3020 gas adsorption analyzer (Micromeritics, USA). Sorption capacity was determined using a Nabi spectrophotometer (MicroDigital Co., Republic of Korea) based on the absorption of methylene blue from an aqueous solution.

Results. Optimal cultivation conditions for maximum biomass yield and cellulose content were determined. It was found that freeze-drying produces a material with a high specific surface area and a developed porous structure, resulting in increased sorption activity.

Conclusions. Bacterial cellulose, especially its lyophilized form, demonstrates high potential as an effective and biocompatible sorbent, as well as a promising carrier of active substances and medicinal preparations.

Keywords: bacterial cellulose, kombucha, *Medusomyces gisevii*, adsorption, methylene blue, sorption capacity, lyophilization

For citation: Krut U.A., Shaidorova G.M., Avtina N.V., Vyrostkova A.A., Mironova N.A., Potapova M.S. Sorption characteristics of bacterial cellulose obtained from the symbiotic culture of *Medusomyces gisevii*. Chemical Bulletin. 2025. 8 (4). 9. DOI: 10.58224/2619-0575-2025-8-4-9

The article was submitted: September 7, 2025; Approved after reviewing: November 11 2025; Accepted for publication: December 14, 2025.

Введение

Развитие экологически безопасных и эффективных сорбционных материалов является одной из актуальных задач современной химии и материаловедения [1, 2]. Особый интерес представляют биополимеры, такие как бактериальная целлюлоза (БЦ), синтезируемая микроорганизмами, в

частности, симбиотической культурой чайного гриба *Medusomyces gisevii* [3, 4, 5]. БЦ обладает уникальными свойствами: высокой степенью кристалличности, биосовместимостью, механической прочностью и способностью формировать трехмерные нановолокнистые сети с развитой удельной поверхностью [6, 7, 8].

Ключевым свойством БЦ, определяющим её практическую значимость, является сорбционная способность, которая напрямую зависит от метода получения, обработки и морфологии конечного материала [9]. Традиционная конвективная сушка часто приводит к уплотнению структуры и снижению пористости, в то время как лиофилизация (сушка вымораживанием) позволяет сохранить нанопористую архитектуру, существенно увеличивая удельную поверхность и, как следствие, сорбционный потенциал [10, 11, 12].

Цель исследования – выявление зависимостей между условиями синтеза (через вариацию углеродного субстрата) и методами сушки бактериальной целлюлозы, а также её конечными характеристиками: морфологией, пористой структурой и эффективностью адсорбции катионного красителя метиленового голубого.

Материалы и методы исследований

Культивирование *Medusomyces gisevii* проводили на питательной среде (Свидетельство №474): 10 г дрожжевого экстракта, 7 г пептона, 2 г лимонной кислоты, 100 мкл ледяной уксусной кислоты и 10 мл 96 масс.% этилового спирта, доведённых до конечного объёма (1 литр) дистиллированной водой. В качестве углеводной подпитки в питательную среду вносили следующие вариации: 3 масс.% сахароза, 6 масс.% сахароза, 6 масс.% меласса. Инкубацию осуществляли в термостате при 25°C в течение 7 дней. Полученные пленки БЦ подвергали щелочной очистке (12 масс.% NaOH, 90±2 °C, 1 ч) с последующей обработкой 3 масс.% H₂O₂.

Сушку образцов проводили двумя методами: конвективной (75±2 °C, сухожаровой шкаф) и лиофильной (замораживание при -40±1 °C, сублимация в лиофильной сушке АК 5-40 (ГК «ПрофЛаб», Россия).

Структурно-морфологические исследования проводили с использованием сканирующего электронного микроскопа Nova NanoSem 450 (FEI Company, США). Удельную поверхность определяли методом БЭТ на газоадсорбционном анализаторе TriStar II 3020 (Micromeritics, США).

Водопоглощение плёнок бактериальной целлюлозы оценивали гравиметрическим методом по изменению массы после насыщения жидкостью. Образцы, предварительно высушенные до постоянной массы, взвешивали с точностью ±0.001 г. Затем плёнки полностью погружали в дистиллированную воду и выдерживали в течение 2 часов при температуре (25 ± 1) °C. После инкубации образцы извлекали, аккуратно удаляли адсорбиро-

ванную на поверхности влагу фильтровальной бумагой без оказания давления и немедленно взвешивали. Выпитываемость определяли по формуле:

$$W = \frac{m_w - m_0}{m_0} \times 100\%, \quad (1)$$

где W – выпитываемость; m_0 – масса сухой пленки; m_w – масса пленки после поглощения жидкости.

Для определения паропроницаемости: высушенные до постоянной массы образцы бактериальной целлюлозы, полученные двумя путями сушки, обрезали по диаметру горловины конической колбы – 37 мм, контроль – фильтровальная бумага «синяя лента». Над горловиной конической колбы, наполненной дистиллированной водой, фиксировали пленки. Сосуд помещали в термостатируемые условия при 25°C. Выдерживали 24 часа. Измеряли массу до и после эксперимента с помощью аналитических весов (ГОСТ 938.17-70). Расчет паропроницаемости проводили по следующей формуле:

$$P = \frac{\Delta m}{A \times t} \quad (2)$$

где P – паропроницаемость (г/м²·ч); Δm – масса пара, прошедшего через пленку (г); A – площадь пленки (м²); t – время (ч).

Сорбционную способность определяли по поглощению метиленового голубого (МГ) из водного раствора с исходной концентрацией 1 г/л. Навеску образца (0.1 г) помещали в 35 мл раствора МГ, перемешивали на встряхивателе (50 об/мин, 20 мин), центрифугировали и анализировали остаточную концентрацию МГ спектрофотометрически Nabi (MicroDigital Co., Республика Корея) при $\lambda=664$ нм.

Адсорбционную способность (X, мг/г) рассчитывали по формуле:

$$X = \frac{C_1 - C_2 \times K \times 0.35}{m}, \quad (3)$$

где C₁ и C₂ – исходная и равновесная концентрации МГ, мг/л; K – коэффициент разбавления; V – объем раствора (0,35), л; m – масса образца БЦ, г.

Результаты и обсуждения

Наибольший удельный выход биомассы БЦ был достигнут на питательной среде добавлением 6 масс.% мелассы (11.807 г/г), однако максимальное содержание чистой целлюлозы зафиксировано в образцах, выращенных на 6 масс.% сахарозы (3.81%) (рис. 1).

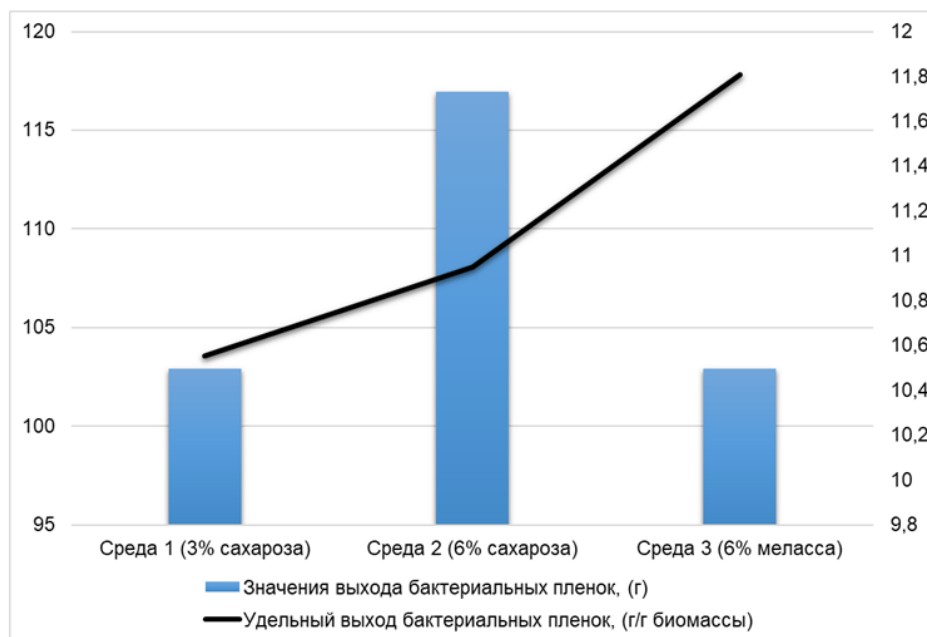


Рис. 1. Зависимость массового выхода БЦ от введения вариаций углеводов в состав питательной среды.
Fig. 1. Dependence of the mass yield of BC on the introduction of carbohydrate variations into the composition of the nutrient medium.

Максимальный абсолютный выход пленок (116.9 г) зафиксирован на среде 2 (6 масс.% сахара). Максимальный удельный выход (11.8 г/г), характеризующий эффективность биоконверсии зафиксирован на среде 3 (6 масс.% меласса).

Наблюдается нелинейная влияния концентрации сахарозы: удвоение концентрации (среды 1→2) повысило абсолютный выход на 13.6%, а удельный – лишь на 3.7%, что указывает на снижение эффективности расходования субстрата.

Выбор оптимальной питательной среды зависит от целевых показателей: для максимизации

объема продукта предпочтительна среда 2 (6 масс.% сахара), а для достижения высокой ресурсоэффективности – среда 3 (6 масс.% меласса).

Условия сушки плёнок бактериальной целлюлозы оказывают значительное влияние на получаемые образцы: при лиофилизации образцы визуально сохраняли более рыхлую и пористую структуру по сравнению с плотными плёнками, имеющими видимые дефекты, полученными при конвективной сушке (рис. 2).

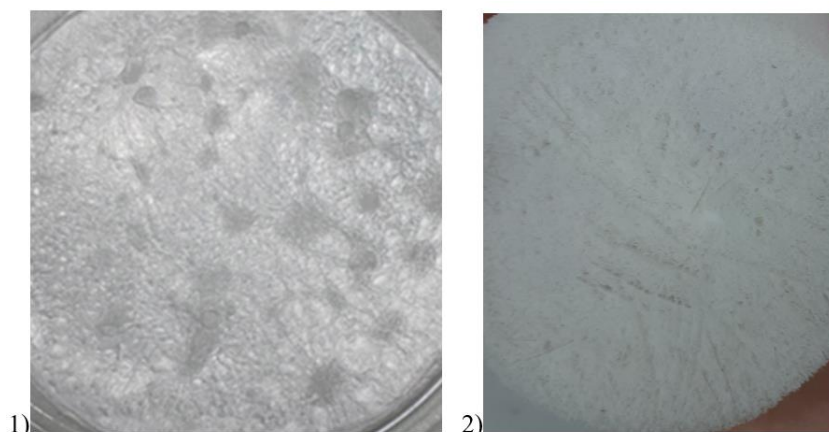


Рис. 2. Плёнки бактериальной целлюлозы, полученные с применением различных условий сушки: 1) фото образца, полученного путем конвективной сушки; 2) фото образца, полученного с помощью лиофилизации.
Fig. 2. Bacterial cellulose films obtained using different drying conditions: 1) photo of a sample obtained by convective drying; 2) photo of a sample obtained by lyophilization.

СЭМ-анализ показал, что все образцы БЦ характеризуются трехмерной сетью переплетенных нановолокон, формирующих макропористую структуру (рис. 3).

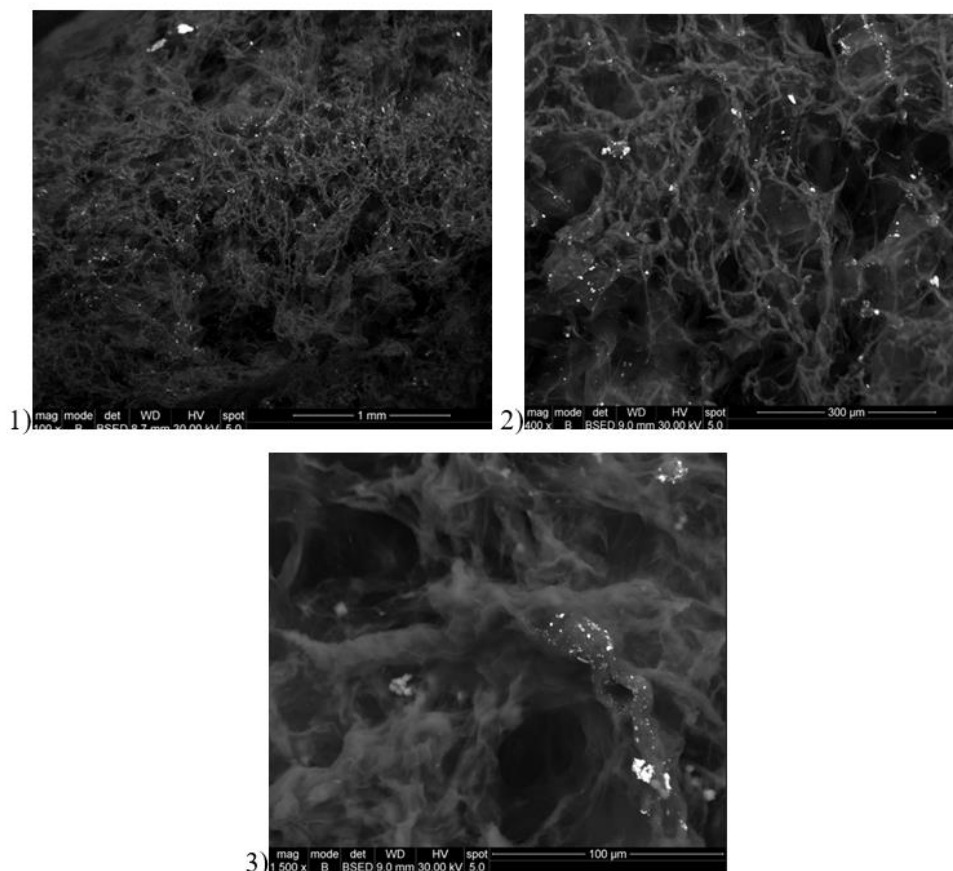


Рис. 3. 1-3) Структурно-морфологические характеристики образца бактериальной целлюлозы, полученной из симбиотической культуры *Medusomyces gisevii*.

Fig. 3. 1-3) Structural and morphological characteristics of a bacterial cellulose sample obtained from a symbiotic culture of *Medusomyces gisevii*.

Газоадсорбционный анализ подтвердил развитие удельной поверхности у лиофилизированных образцов, значения по пятиточечному методу БЭТ составили 28,20 и 32,65 м²/г для двух повторностей. Изотермы адсорбции-десорбции относились к типу II с гистерезисной петлей, что характерно для макропористых материалов.

Результаты исследования впитываемости количественно охарактеризовали сорбционную ёмкость целлюлозных плёнок по отношению к воде (рис. 4(1)). Установлено, что метод сушки оказывает существенное влияние на данный параметр. Так, лиофилизированные образцы продемонстрировали максимальную гидрофильность, величина водопоглощения для которых составила 213.53±7.15 масс.%. Для сравнения, нативные (воздушно-сухие) плёнки показали значительно более низкий результат – 105.05±6.20 масс.%.

На основании экспериментальной оценки паронепроницаемости образцов бактериальной целлю-

лозы, полученных различными методами сушки, были получены следующие результаты (рис. 4(2)):

– метод сушки является ключевым фактором, определяющим уровень паропроницаемости материала. Наибольшая скорость переноса пара была зафиксирована для образца, подвергнутого лиофильной сушке, и составила 6.13 г/(м²·ч). Данный показатель превысил значение для фильтровальной бумаги (5.47 г/(м²·ч)), что, вероятно, обусловлено формированием высокопористой структуры с сохранением открытой фибриллярной сети в процессе сублимации;

– конвективная сушка привела к существенному снижению паропроницаемости до 3.30 г/(м²·ч). Уменьшение данного параметра коррелирует с уплотнением и коллапсом поровой структуры материала под действием капиллярных сил при испарении жидкости.

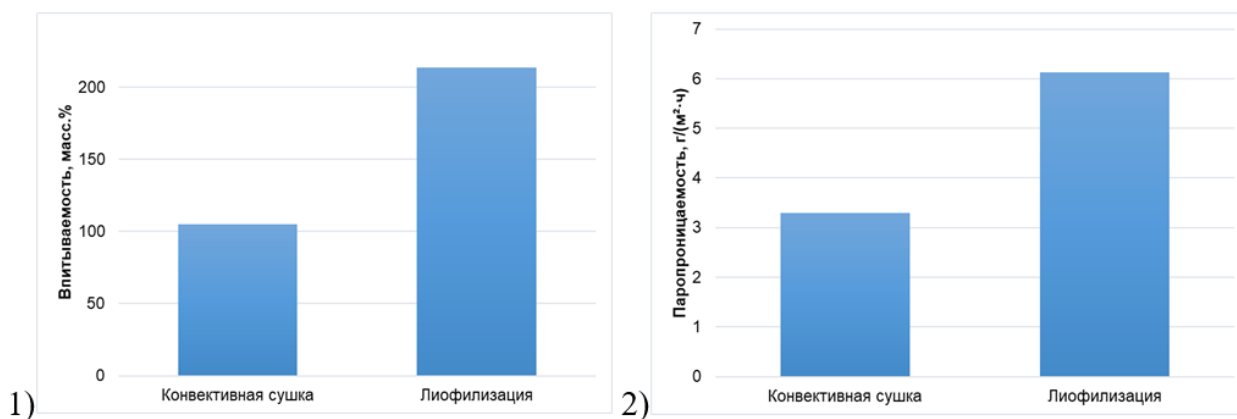


Рис. 4. Сравнительная оценка характеристик плёнок БЦ, полученных при помощи различных методов высушивания: 1) впитываемость, масс.%; 2) паропроницаемость, г/(м²·ч).

Fig. 4. Comparative evaluation of the characteristics of BC films obtained using different drying methods: 1) absorbency, wt.%; 2) vapor permeability, g/(m² h).

Результаты определения адсорбционной способности метиленового голубого представлены в табл. 1.

Таблица 1
Адсорбционная способность образцов БЦ по отношению к метиленовому голубому.

Table 1

Adsorption capacity of BC samples in relation to methylene blue.

Тип образца	Адсорбционная емкость, мг/г	Стандартное отклонение	Погрешность, %	Эффективность удаления МГ, %
Нативная пленка (конвективная сушка)	11.689 мг/г	1.720	5.6	25.45
Лиофилизирующая сушка	22.809	0.763	3.2	60.30

Таким образом, лиофилизирующая БЦ обладает в 1.95 раза более высокой адсорбционной емкостью по сравнению с нативной пленкой. Более чем двукратное увеличение сорбции объясняется сохранением высокопористой структуры в процессе сублимационной сушки, что обеспечивает большую доступную поверхность и лучшую диффузию молекул красителя вглубь материала. Низкая погрешность и стандартное отклонение для лиофилизирующих образцов свидетельствуют о высокой воспроизводимости метода их получения и однородности структуры.

Выводы

Установлено, что культивирование *Medusomyces gisevii* на среде с 6% мелассой обеспечивает максимальный удельный выход биомассы бактериальной целлюлозы, а среда с 6% сахарозой – наибольшее содержание чистой целлюлозы.

Метод лиофильной сушки позволяет получить

материал с развитой макропористой структурой и повышенной удельной поверхностью по сравнению с конвективной сушкой.

Установлено, что метод сушки существенно влияет на функциональные свойства БЦ: лиофилизирующие образцы характеризуются повышенной паропроницаемостью (6.13 г/(м²·ч)) и сорбционной емкостью (22.809 мг/г) по сравнению с конвективно высушенными образцами.

Показано, что лиофилизирующая бактериальная целлюлоза обладает значительной сорбционной емкостью по отношению к метиленовому синему (22.809 мг/г), что почти в два раза превышает показатели нативной пленки.

Бактериальная целлюлоза, в особенности её лиофилизирующая форма, является перспективным биосовместимым материалом для использования в качестве сорбента в системах очистки воды и носителя функциональных веществ.

Финансирование

Работа выполнена в рамках Государственного задания FZWG-2023-0007 Адаптивные реакции микроорганизмов: теоретические и прикладные аспекты

Список источников

1. Zinicovscaia I., Balintova M. Environmentally-Friendly Materials in Wastewater Treatment // *Materials*. 2023. V. 16 (18). P. 6181. <https://doi.org/10.3390/ma16186181>
2. Berillo D., Ermukhambetova A. The review of oral adsorbents and their properties // *Adsorption*. 2024. V. 30. P. 1505 – 1527. <https://doi.org/10.1007/s10450-024-00515-1>
3. Digel I., Akimbekov N., Rogachev E., Pogorelova N. Bacterial cellulose produced by *Medusomyces gisevii* on glucose and sucrose: biosynthesis and structural properties // *Cellulose*. 2023. Vol. 30 (18). P. 11439 – 11453.
4. Pogorelova N., Rogachev E., Akimbekov N., Digel I. Effect of dehydration method on the micro- and nano-morphological properties of bacterial cellulose produced by *Medusomyces gisevii* on different substrates // *Journal of materials science*. 2024. Vol. 59(15). P. 6614 – 6626.
5. Skiba E.A., Shavyrkina N.A., Skiba M.A., Mironova G.F., Budaeva V.V. Biosynthesis of bacterial nanocellulose from low-cost cellulosic feedstocks: effect of microbial producer // *International journal of molecular sciences*. 2023. Vol. 24 (18). 14401. <https://doi.org/10.3390/ijms241814401>
6. Orobinskaya V.N., Pushmina I.N., Permyakov A.V., Galdin E.V., Kononov D.A. Filler for confectionery based on the probiotic *medusomyces gisevii* (tea fungus)(Part I). In IOP // *Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 852. No. 1. P. 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012076>
7. Thatoi H., Behera S. Bacterial Cellulose Production from Renewable Feedstock // *Bacterial Cellulose*. CRC Press. 2023. P. 22 – 38.
8. Shavyrkina N.A., Budaeva V.V., Skiba E.A., Mironova G.F., Bychin N.V., Gismatulina Y.A., Kashcheyeva E.I., Sitnikova A.E., Shilov A.I., Kuznetsov P.S., Sakovich G.V. Scale-Up of Biosynthesis Process of Bacterial Nanocellulose // *Polymers*. 2021. Vol. 13 (12). 1920. <https://doi.org/10.3390/polym13121920>
9. Revin V.V., Liyaskina E.V., Parchaykina M.V., Kuzmenko T.P., Kurgaeva I.V., Revin V.D., Ullah M.W. Bacterial cellulose-based polymer nanocomposites: a review // *Polymers*. 2022. Vol. 14 (21). P. 46 – 70. <https://doi.org/10.3390/polym14214670>
10. Le H.V., Dao N.T., Bui H.T., Kim Le P.T., Le K.A., Tuong Tran A.T., Ho P.H. Bacterial cellulose aerogels derived from pineapple peel waste for the adsorption of dyes // *ACS omega*. 2023. Vol. 8 (37). P. 33412 – 33425.
11. Hirai A., Suzuki M., Sato K., Hoshi T., Aoyagi T. Adsorption capacity of activated carbon-encapsulated hollow-type spherical bacterial cellulose gels for uremic toxins in a simulated human gastrointestinal environment // *Gels*. 2024. Vol. 10 (7). P. 417.
12. Li J., Zhang X., Zhao Y., Ma M., Song Y., Zheng B., Ostrikov K.K. Nisin electroadsorption-enabled multi-functional bacterial cellulose membranes for highly efficient removal of organic and microbial pollutants in water // *Chemical Engineering Journal*. 2022. № 440. P. 135922.

References

1. Zinicovscaia I., Balintova M. Environmentally-Friendly Materials in Wastewater Treatment. *Materials*. 2023. V. 16 (18). P. 6181. <https://doi.org/10.3390/ma16186181>
2. Berillo D., Ermukhambetova A. The review of oral adsorbents and their properties. *Adsorption*. 2024. V. 30. P. 1505 – 1527. <https://doi.org/10.1007/s10450-024-00515-1>
3. Digel I., Akimbekov N., Rogachev E., Pogorelova N. Bacterial cellulose produced by *Medusomyces gisevii* on glucose and sucrose: biosynthesis and structural properties. *Cellulose*. 2023. Vol. 30 (18). P. 11439 – 11453.
4. Pogorelova N., Rogachev E., Akimbekov N., Digel I. Effect of dehydration method on the micro- and nano-morphological properties of bacterial cellulose produced by *Medusomyces gisevii* on different sub-strates. *Journal of materials science*. 2024. Vol. 59(15). P. 6614 – 6626.
5. Skiba E.A., Shavyrkina N.A., Skiba M.A., Mironova G.F., Budaeva V.V. Biosynthesis of bacterial nanocellulose from low-cost cellulosic feedstocks: effect of microbial producer. *International journal of molecular sciences*. 2023. Vol. 24 (18). 14401. <https://doi.org/10.3390/ijms241814401>
6. Orobinskaya V.N., Pushmina I.N., Permyakov A.V., Galdin E.V., Kononov D.A. Filler for confectionery based on the probiotic *medusomyces gisevii* (tea fungus)(Part I). In IOP. *Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2021. Vol. 852.No. 1. P. 012076. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/852/1/012076>
7. Thatoi H., Behera S. Bacterial Cellulose Production from Renewable Feedstock. *Bacterial Cellulose*. CRC Press. 2023. P. 22 – 38.

8. Shavyrkina N.A., Budaeva V.V., Skiba E.A., Mironova G.F., Bychin N.V., Gismatulina Y.A., Kash-cheyeva E.I., Sitnikova A.E., Shilov A.I., Kuznetsov P.S., Sakovich G.V. Scale-Up of Biosynthesis Process of Bacterial Nanocellulose. *Polymers*. 2021. Vol. 13 (12). 1920. <https://doi.org/10.3390/polym13121920>

9. Revin V.V., Liyaskina E.V., Parchaykina M.V., Kuzmenko T.P., Kurgaeva I.V., Revin V.D., Ullah M.W. Bacterial cellulose-based polymer nanocomposites: a review. *Polymers*. 2022. Vol. 14 (21). P. 46 – 70. <https://doi.org/10.3390/polym14214670>

10. Le H.V., Dao N.T., Bui H.T., Kim Le P.T., Le K.A., Tuong Tran A.T., Ho P.H. Bacterial cellulose aerogels derived from pineapple peel waste for the adsorption of dyes. *ACS omega*. 2023. Vol. 8 (37). P. 33412 – 33425.

11. Hirai A., Suzuki M., Sato K., Hoshi T., Aoyagi T. Adsorption capacity of activated carbon-encapsulated hollow-type spherical bacterial cellulose gels for uremic toxins in a simulated human gastrointestinal environment. *Gels*. 2024. Vol. 10 (7). P. 417.

12. Li J., Zhang X., Zhao Y., Ma M., Song Y., Zheng B., Ostrikov K.K. Nisin electroadsorption-enabled multi-functional bacterial cellulose membranes for highly efficient removal of organic and microbial pollutants in water. *Chemical Engineering Journal*. 2022. No. 440. P. 135922.

Информация об авторах

Круть У.А., кандидат биологических наук, доцент, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-6341-9750>, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, krut@bsuedu.ru

Шайдорова Г.М., ассистент, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9467-027X>, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, shaydorova@bsu.edu.ru

Автина Н.В., кандидат фармацевтических наук, доцент, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5506-515X>, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, avtina@bsuedu.ru

Выросткова А.А., Белгородский государственный национальный исследовательский университет. 1554946@bsuedu.ru

Миронова Н.А., Белгородский государственный национальный исследовательский университет, 1724332@bsuedu.ru

Потапова М.С., ассистент кафедры биологии, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-4642-0412>, Белгородский государственный национальный исследовательский университет, potapova_m@bsuedu.ru

© Круть У.А., Шайдорова Г.М., Автина Н.В., Выросткова А.А., Миронова Н.А., Потапова М.С., 2025

Information about the authors

Krut U.A., Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0009-6341-9750>, Belgorod State National Research University, krut@bsuedu.ru

Shaydorova G.M., Assistant Professor, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0002-9467-027X>, Belgorod State National Research University. shaydorova@bsu.edu.ru

Avtina N.V., Candidate of Pharmaceutical Sciences, Associate Professor, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0001-5506-515X>, Belgorod State National Research University, avtina@bsuedu.ru

Vyrostkova A.A., Belgorod State National Research University. 1554946@bsuedu.ru

Mironova N.A., Belgorod State National Research University, 1724332@bsuedu.ru

Potapova M.S., Assistant Professor, Department of Biology, ORCID ID: <https://orcid.org/0009-0000-4642-0412>, Belgorod State National Research University, potapova_m@bsuedu.ru

© Krut U.A., Shaidorova G.M., Avtina N.V., Vyrostkova A.A., Mironova N.A., Potapova M.S., 2025