

Оригинальная статья / Original article

УДК 676.168

DOI: <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-3-460-471>



Композиционная бумага из бактериальной наноцеллюлозы и хвойной целлюлозы

© Ю.А. Гисматулина*, В.В. Будаева*, А.Е. Ситникова*,
Н.В. Бычин*, Е.К. Гладышева*, Н.А. Шавыркина*,
Г.Ф. Миронова*, Ю.В. Севастьянова**

*Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН,
г. Бийск, Российская Федерация

**Северный (Арктический) федеральный университет им. М.В. Ломоносова,
г. Архангельск, Российская Федерация

Резюме: Масштабирование биосинтеза БНЦ позволило получить образцы композиционной бумаги с повышенной долей БНЦ. Целью работы являлось исследование образцов композиционной бумаги из БНЦ и сульфатной беленой хвойной целлюлозы (ХвЦ) с соотношением компонентов в широком диапазоне – 10:90, 30:70, 50:50, 60:40, 70:30, 90:10. Выбор метода изготовления бумаги осуществлен на основе результатов определения прочностных и деформационных показателей образцов композиционной бумаги с соотношением БНЦ:ХвЦ 20:80. Метод с поверхностным нанесением БНЦ на отливки ХвЦ позволил повысить показатели прочности (сопротивление раздиранию – на 37%, сопротивление продавливанию – на 17%) и деформационные показатели (жесткость при растяжении – на 66%, работу разрушения – на 8%, разрывную длину – на 4%) по сравнению с контролем. Во всех образцах подтверждено образование композиций. Методом растровой электронной спектроскопии установлено, что композиции бумаги состоят из переплетенных микроразмерных волокон ЦвХ и наноразмерных волокон БНЦ, причем по мере повышения в композициях доли БНЦ наблюдалось «уплотнение» структуры за счет увеличения доли сетчатых наноразмерных фрагментов. Данные ИК-спектроскопии свидетельствуют о сходстве целлюлозной структуры всех образцов. Установлено, что возрастание значений степени полимеризации образцов композиционной бумаги прямо пропорционально увеличению доли БНЦ в образцах. Изучена фильтрующая способность образцов композиционной бумаги по отношению к микроорганизмам культуральной жидкости продуцента *Medusomyces gisevii* Sa-12. Отмечено, что удерживание дрожжей достигается при содержании в композиционной бумаге 70% БНЦ. Представленные свойства нового материала обуславливают перспективы его использования для фильтрации микроорганизмов.

Ключевые слова: бактериальная наноцеллюлоза, хвойная целлюлоза, композиционная бумага, фильтрующая способность

Благодарности: Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 17-19-01054).

Для цитирования: Гисматулина Ю.А., Будаева В.В., Ситникова А.Е., Бычин Н.В., Гладышева Е.К., Шавыркина Н.А., Миронова Г.Ф., Севастьянова Ю.В. Композиционная бумага из бактериальной наноцеллюлозы и хвойной целлюлозы. *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология*. 2021. Т. 11. N 3. С. 460–471. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-3-460-471>

Bacterial nanocellulose and softwood pulp for composite paper

Yulia A. Gismatulina*, Vera V. Budaeva*, Anastasia E. Sitnikova*,
Nikolay V. Bychin*, Evgenia K. Gladysheva*, Nadezhda A. Shavyrkina*,
Galina F. Mironova*, Yulia V. Sevastyanova**

* Institute for Problems of Chemical and Energetic Technologies of the SB RAS,
Biysk, Russian Federation

** Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,
Arkhangelsk, Russian Federation

Abstract: Scaling biosynthesis of bacterial nanocellulose (BNC) allowed samples of composite paper with an increased proportion of BNC to be obtained. This work aims to study BNC samples and bleached soft-

wood kraft pulp (BSKP) composite paper with a ratio of components varying across a wide range: 10:90, 30:70, 50:50, 60:40, 70:30, 90:10. The method of paper manufacturing was chosen based on the determinations of strength and deformation properties of composite samples with the BNC:BSKP ratio of 20:80. Surface application of BNT on BSKP handsheet provided for an increase in the strength values (tear resistance – by 37%, burst index – by 17%) and deformation characteristics (tension stiffness – by 66%, fracture work – by 8%, breaking length – by 4%) compared to a reference sample. The formation of composites is confirmed in all samples. Scanning electron spectroscopy revealed that paper composites comprise interlaced micro BSKP and nano BNC fibres. As the proportion of BNC in composites elevated, densification of the structure was observed due to an increased fraction of cross-linked nanosized elements. IR spectroscopy indicated the resemblance of cellulose structure in all samples. It was found that an increase in the degree of polymerisation of composite paper is directly proportional to an increase in the BNC amount in the samples. The filtering ability of composite paper samples against microorganisms in the culture liquid of the *Medusomyces gisevii* Sa-12 producer was studied. It should be noted that yeast retention is achieved with 70% BNC in the paper composite. The presented properties of the new material determine prospects for its use in filtering microorganisms.

Keywords: bacterial nanocellulose, softwood pulp, composite paper, filtering ability

Acknowledgement: The research was funded by the Russian Science Foundation (grant no. 17-19-01054).

For citation: Gismatulina YuA, Budaeva VV, Sitnikova AE, Bychin NV, Gladysheva EK, Shavyrkina NA, Mironova GF, Sevastyanova YuV. Bacterial nanocellulose and softwood pulp for composite paper. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology*. 2021;11(3):460–471. (In Russian) <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2021-11-3-460-471>

ВВЕДЕНИЕ

Бактериальная наноцеллюлоза (БНЦ) – это химически чистая целлюлоза с уникальной нанофибриллярной структурой, характеризующаяся рядом специфических свойств, не присущих целлюлозе растительного происхождения (высокая влагоудерживающая способность, прозрачность, проницаемость для газов и жидкостей, высокая механическая прочность и др.) [1–5]. В связи с этим БНЦ востребована в различных отраслях, как традиционных для растительной целлюлозы (целлюлозно-бумажная и химическая промышленность) [6], так и новейших (биотехнологическая промышленность, биомедицина, электроника, получение композиционных материалов) [7–9].

Высокую актуальность имеют исследования, посвященные изучению бумагообразующих свойств БНЦ. Эти исследования можно разделить на следующие группы: бумага из БНЦ; композиционная бумага из традиционных компонентов с включением БНЦ; композиционная бумага с добавлением компонентов, обеспечивающих особые свойства бумаги (биоактивность, антимикробная активность, электропроводность, электроизоляция и др.); композиционная бумага с включением функционализированной БНЦ. Отдельно обсуждаются области применения новых видов композиционной бумаги.

Авторами работы [10] изучалось влияние плотности и скорости деформации на растяжение нанобумаги из исходной БНЦ.

Российскими учеными (Е.Г. Смирнова с коллегами) впервые была проведена успешная реставрация старинных рукописей (работы в этом направлении будут продолжены при наличии достаточного количества БНЦ) [11]. Аналогичные работы позднее были проведены и за рубежом [12].

Результаты оценки бумагообразующих свойств исходной БНЦ по сравнению с сульфатной беленой хвойной целлюлозой (ХвЦ) марки ХБ-1 изложены в работе [13]. Авторами названной монографии также были приготовлены образцы бумаги из смеси БНЦ и ХвЦ и было установлено, что основные показатели механической прочности смеси бумаги мало отличаются от показателей бумаги, полученной из ХвЦ. В то же время бумага, состоящая из смеси БНЦ и ХвЦ, обладает чрезвычайно высоким сопротивлением излому – в 30 раз большим, чем у бумаги из ХвЦ. Исследования, проведенные по устойчивости к старению бумаги, полученной с включением БНЦ, показали, что она является более долговечным материалом в сравнении с хвойной бумагой. Введение БНЦ в композицию восполняющей бумажной массы повышает прочность шва примерно на 30% перед началом старения, и по завершении процесса старения этот показатель сохраняется на более высоком уровне, чем при применении восполняющей бумажной массы, не содержащей БНЦ.

Авторами работ [14, 15] получена композиционная бумага с добавками оксидов металлов, обладающая антимикробной активностью. В работе [16] показана перспективность использования БНЦ в качестве компонента упаковочных материалов, в частности, для упаковки пищевых продуктов, в работе [17] описано получение биоактивной бумаги в качестве нового упаковочного материала. В работе [18] сообщается о создании гибкой, сверхпрочной и высокопроводящей бумаги из графена и БНЦ, полученной новым методом распыления графена на поверхность питательной среды. Полученная бумага демонстрирует значительно улучшенную прочность на

растяжение и электропроводность по сравнению с исходной бумагой БНЦ, сохраняя при этом превосходную гибкость. Показана перспективность применения БНЦ в композиции электроизоляционной бумаги, поскольку при этом происходит повышение электрической и механической прочности целлюлозных диэлектриков, а также их устойчивости к длительному воздействию повышенной температуры по сравнению с промышленной электроизоляционной бумагой [19, 20].

В последнее время за рубежом было описано получение бумаги из функционализированной БНЦ в виде тонких листов, сочетающих характеристики нановолокон с жесткостью и физическими свойствами обычной древесной бумаги [14, 21]. Кроме того, этот материал является подходящей матрицей для иммобилизации биологически активных молекул путем физической адсорбции с получением биоактивной бумаги [17, 22].

Перспективным направлением оказалось применение БНЦ в качестве фильтрующего материала. Описано использование БНЦ во влажном виде в качестве фильтра для удаления микроорганизмов и очистки сточных вод [2], а авторы работы [5] применили БНЦ в сухом виде с добавлением Ag для фильтрации воздуха от твердых частиц и микроорганизмов.

Несмотря на актуальность и многообразие исследований по получению композиционной бумаги, отсутствие БНЦ в требуемых количествах сдерживает развитие этого направления (массовая доля БНЦ в композициях не превышает 20% [2]). Нами был масштабирован биосинтез БНЦ, в результате чего образцы БНЦ были получены в достаточном количестве [23, 24], что позволило увеличить долю БНЦ в образцах композиционной бумаги.

Целью данной работы являлось исследование образцов композиционной бумаги из БНЦ и ХвЦ с соотношением компонентов в широком диапазоне – 10:90, 30:70, 50:50, 60:40, 70:30, 90:10.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Хвойная целлюлоза марки ХБ-1 была предоставлена АО «Группа «ИЛИМ», филиал в г. Коряжма».

Образец исходной гель-пленки БНЦ с влажностью 99% был получен с помощью симбиотической культуры *Medusomyces gisevii* Sa-12 по методике [23] с масштабированием процесса согласно [24].

Получение композиционной бумаги из БНЦ и ХвЦ проводилось на приборной базе Инновационно-технологического центра «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова (ИТЦ СТПБС САФУ им. М.В. Ломоносова, г. Архангельск).

Образцы композиционной бумаги были получены двумя методами:

– метод № 1 заключался в выдерживании смеси БНЦ и ХвЦ без перемешивания в течение суток и последующем изготовлении образцов на листоотливном аппарате Rapid-Köthen (Австрия) с высушиванием в сушильной камере при температуре 100 °С;

– метод № 2 – в нанесении валиком суспензии БНЦ на готовые отливки ХвЦ с двух сторон также с последующим высушиванием в сушильной камере при температуре 100 °С.

Определение прочностных и деформационных показателей композиционной бумаги проводилось в ИТЦ СТПБС САФУ им. М.В. Ломоносова по стандартным методам [13].

Образцы композиционной бумаги из БНЦ и ХвЦ с соотношением компонентов в широком диапазоне, полученные методом № 2, исследованы с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ), ИК-спектроскопии. Были определены их степень полимеризации (СП) и фильтрующая способность по отношению к микроорганизмам культуральной жидкости продуцента *Medusomyces gisevii* Sa-12.

Морфология поверхности композиционной бумаги и исходной БНЦ изучалась методом РЭМ на сканирующем электронном микроскопе Jeol GSM 840 (Япония) после напыления Pt толщиной слоя 1–5 нм.

ИК-спектроскопия образцов композиционной бумаги проводилась на спектрометре Инфралюм-801 (Россия) в диапазоне частот 4000–500 см⁻¹. Для съемки спектров прессовали таблетки в бромиде калия в соотношении с KBr 1:150.

СП исходной ХвЦ, образцов композиционной бумаги и исходной БНЦ определялась методом, основанным на растворении навески образца в кадоксене и последующей вискозиметрии полученного раствора [25, 26]. Полуширина доверительного интервала определена при уровне значимости 0,05 и составляет ±50.

Фильтрующая способность шести образцов композиционной бумаги из БНЦ и ХвЦ с соотношением компонентов 10:90, 30:70, 50:50, 60:40, 70:30, 90:10 в сравнении с исходными ХвЦ и гель-пленкой БНЦ определялась вакуумной фильтрацией культуральной жидкости продуцента *Medusomyces gisevii* Sa-12. Продуцент представляет собой симбиотическую культуру, состоящую из 8–10 родов уксуснокислых бактерий, среди которых наиболее значимым является *Komagataibacter*, и 15–30 родов дрожжей – *Zygosaccharomyces*, *Candida*, *Kloeckera* и др. (видовой состав культуры детально приведен в работах [27, 28]). Культуральная жидкость получена на полусинтетической питательной среде согласно [26] при дозировке инокулята 10%, возраст – 9 сут. Численность клеток определялась методом прямого подсчета с использованием камеры Горяева (микроскоп Optika B-150, Италия).

Получение БНЦ, исследование композиционной

бумаги методами РЭМ и ИК-спектроскопии, определение СП и фильтрующей способности выполнено при использовании оборудования Бийского регионального центра коллективного пользования СО РАН (Институт проблем химико-энергетических технологий СО РАН, г. Бийск, Россия).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

В табл. 1 представлены результаты определения прочности и деформативности образцов композиционной бумаги, полученной двумя методами в соотношении БНЦ:ХвЦ 20:80, в сравнении с ХвЦ.

Установлено, что при получении композиционной бумаги *методом № 1* (суспензионный метод с выдержкой) добавка БНЦ приводит к изменению показателей в пределах погрешности по сравнению с контролем, за исключением увеличения сопротивления раздиранию на 24% (930 мН против 745 мН) и жесткости при растяжении на 12% (510 кН/м против 455 кН/м).

При использовании *метода № 2* (с поверхностным нанесением БНЦ на подготовленные отливки ХвЦ) установлен факт повышения основных показателей прочности: сопротивление раздиранию – на 37% (1090 против 795 мН), сопротивление продавливанию – на 17% (440 против 375 кПа). Деформационные показатели также увеличиваются по сравнению с контролем: жесткость при растяжении – на 66% (736 против 443 кН/м), работа разрушения – на 8 % (135,9 против 125,7 Дж/м²), разрывная длина – на 4% (7870 против 7530 м).

Полученные данные свидетельствуют о преимуществе метода с поверхностным нанесением БНЦ на отливки из ХвЦ и согласуются с результатами исследований, представленными в работах [3, 6, 9, 13], где добавление БНЦ в бумагу позволило увеличить прочностные и деформационные показатели. В литературе описано увеличение прочностных характеристик внесением волокон БНЦ в количестве до 20% в композиционную бумагу, но отсутствуют результаты визуализации

процесса взаимодействия микро- и наноразмерных волокон целлюлозы. Поэтому нами были исследованы методом РЭМ образцы бумаги, изготовленные в широком диапазоне соотношения БНЦ и ХвЦ. Результаты приведены в табл. 2 в сравнении с РЭМ исходной БНЦ. Исследование РЭМ было проведено при увеличении от 200 до 10000 раз (ранее нами было показано что структуру БНЦ необходимо фиксировать только при увеличении не менее чем в 1000 раз [29]).

На всех фотографиях наблюдается образование композиции из переплетенных наноразмерных волокон БНЦ (ширина волокон от 20 до 80 нм) и микроразмерных волокон ХвЦ (ширина волокон от 20 до 140 мкм). По мере увеличения содержания БНЦ от 10 до 90%, «паутинка» наноразмерных волокон на фото при увеличении $\times 1000$ все заметнее визуализируется при микроскопировании. Тонко переплетенная сеть гладких волокон БНЦ [10] «заполняет» крупные поры в древесной целлюлозе, снижая в целом пористость композиционной бумаги. Фото с увеличением $\times 10000$ подтверждает наличие наноразмерных волокон БНЦ во всех образцах. Таким образом, можно предположить, что видимое наполнение композиций ультратонкой трехмерной структурой БНЦ [5] может привести в целом к увеличению фильтрующей способности.

На рисунке представлены ИК-спектры образцов композиционной бумаги из БНЦ и ХвЦ с различным соотношением компонентов.

Сравнение ИК-спектров композиционной бумаги из БНЦ и ХвЦ с различным соотношением компонентов, представленных на рис. 1, позволяет установить, что все образцы бумаги, независимо от процентного соотношения компонентов, характеризуются близкими значениями валентных колебаний, соответствующих колебаниям целлюлозы [30], что свидетельствует об одинаковой целлюлозной структуре представленных образцов¹ [4, 29–31]. Конкретно: полосы поглощения при 3434 см^{-1} обусловлены валентными колебаниями ОН-групп, полосы поглощения при

Таблица 1. Показатели прочности и деформативности образцов композиционной бумаги

Table 1. Strength and deformability indicators of composite paper samples

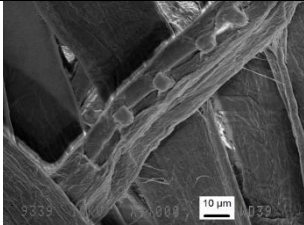
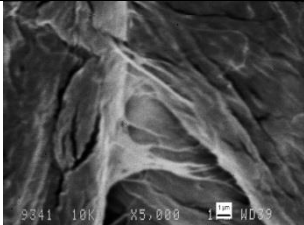
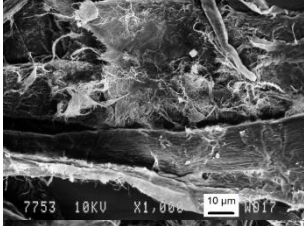
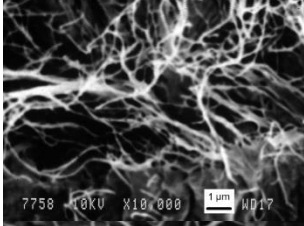
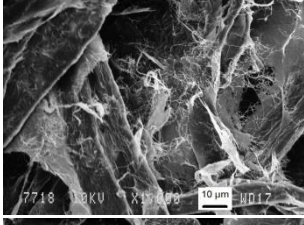
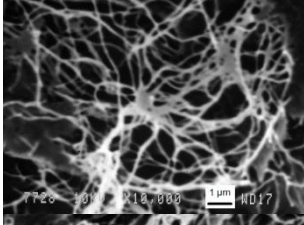
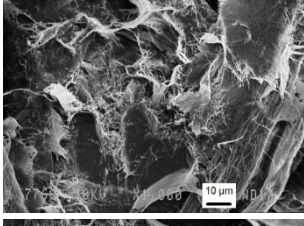
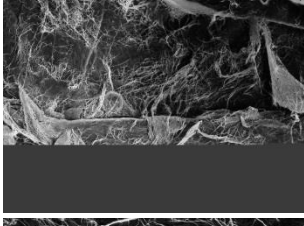
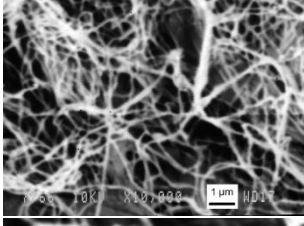
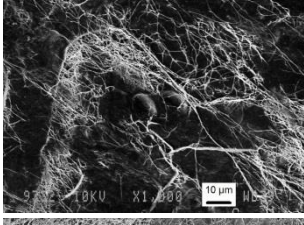
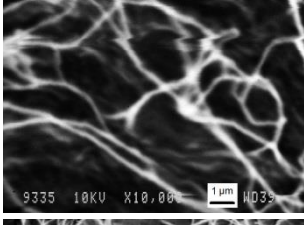
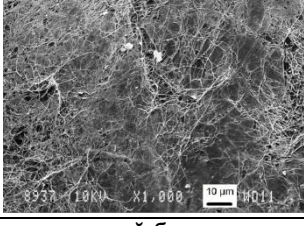
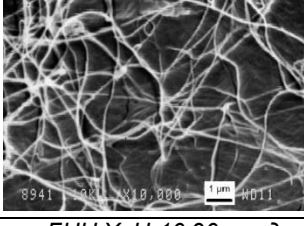
Соотношение компонентов БНЦ:ХвЦ	Степень помола, °ШР	ρ , г/см ³	δ , мкм	Прочностные показатели		Деформационные показатели		
				R , МН	P , кПа	S_t , кН/м	TEA , Дж/м ²	L , м
Метод № 1								
ХвЦ БНЦ:ХвЦ (20:80)	32	0,718 0,706	96,5 108,3	745 930	380 400	455 510	116,2 106,0	7600 7450
Метод № 2								
ХвЦ БНЦ:ХвЦ (20:80)	37	0,629	109,3	795	375	443	125,7	7530
		0,772	125,0	1090	440	736	135,9	7870

Примечание. ρ – плотность; δ – средняя толщина; R – сопротивление раздиранию; P – сопротивление продавливанию; S_t – жесткость при растяжении; TEA – работа разрушения; L – разрывная длина.

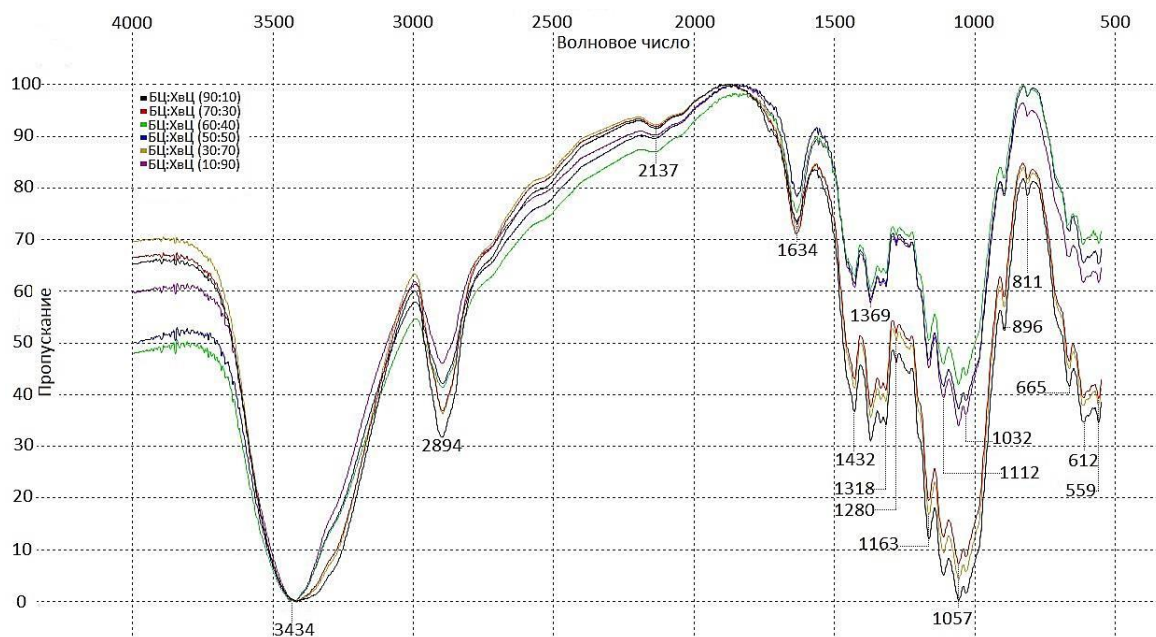
¹Новый справочник химика и технолога. Сырье и продукты промышленности органических и неорганических веществ. Ч. II. СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2005, 2007. 1142 с.

Таблица 2. Фотографии РЭМ образцов композиционной бумаги из бактериальной наноцеллюлозы и хвойной целлюлозы с различным соотношением компонентов и исходной бактериальной наноцеллюлозе

Table 1. SEM photographs of composite paper from bacterial nanocellulose and coniferous cellulose with different components ratio and original bacterial nanocellulose

Соотношение БНЦ и ХвЦ	Увеличение x1000	Увеличение x10000
10:90		
30:70		
50:50		
60:40		
70:30		
90:10		
Исходная БНЦ		

Примечание. Фотографии РЭМ образца композиционной бумаги с соотношением БНЦ:ХвЦ 10:90 представлены при увеличении x1000 и x5000.



ИК-спектры образцов композиционной бумаги из бактериальной наноцеллюлозы и хвойной целлюлозы с соотношением компонентов 10:90, 30:70, 50:50, 60:40, 70:30, 90:10

IR spectra of composite paper samples from bacterial nanocellulose and coniferous cellulose with components ratio 10:90, 30:70, 50:50, 60:40, 70:30, 90:10

2894 см^{-1} – валентными колебаниями CH_2 , CH -групп. Полосы поглощения при 1634 см^{-1} характеризуют деформационные колебания OH -групп прочно связанной воды. Полосы поглощения в области $1432\text{--}1369\text{ см}^{-1}$ указывают на деформационные колебания CH_2 , CH -групп. Полосы поглощения в области 1318 см^{-1} указывают на деформационные колебания первичной спиртовой группы OH , в области 1280 см^{-1} – на деформационные колебания спиртовой группы CH_2 , в области 1163 см^{-1} – на валентные колебания спиртовых групп C-O-C и C-O . Полосы поглощения при 896 см^{-1} подтверждают наличие β -1,4-гликозидных связей между молекулами глюкозы. Полученные результаты соответствуют опубликованным данным БНЦ [4].

Значения СП для исходных компонентов и образцов композиционных бумаг приведены в табл. 3.

Значения СП исходных компонентов – БНЦ (4900) и ХвЦ (1350), отличаются в 3,6 раза, поэтому смешение компонентов с самого малого соотношения (10:90) приводит к увеличению СП от 1350 до 1700. Далее наблюдается значительный рост значений СП в соответствии с увеличением содержания БНЦ в композиционной бумаге. Наличие необходимого количества БНЦ позволило получить композиции с долей БНЦ 70 и 90, степень полимеризации которых составила 3800 и 4500, что больше СП исходной ХвЦ в 2,8 и 3,3 раза соответственно. Данные ИК-спектроскопии об одинаковой целлюлозной структуре исследованных образцов бумаги и установление изменения в них СП в соответствии с увеличением

доли БНЦ подтверждают образование композиционной бумаги из двух видов целлюлозы.

Таблица 3. Степень полимеризации исходных компонентов и образцов композиционной бумаги с различным соотношением бактериальной наноцеллюлозы и хвойной целлюлозы

Table 3. Degree of polymerization of the initial components and composite paper with different ratios of bacterial nanocellulose and coniferous cellulose

Соотношение БНЦ и ХвЦ	Степень полимеризации
Исходная ХвЦ	1350
10:90	1700
30:70	2400
50:50	3150
60:40	3500
70:30	3800
90:10	4500
Исходная БНЦ	4900

Результаты оценки фильтрующей способности исходной ХвЦ, образцов композиционной бумаги и исходной гель-пленки БНЦ по отношению к микроорганизмам в культуральной жидкости, содержащей дрожжевые клетки ($8,5\text{ млн КОЕ/мл}$) и уксуснокислые бактерии ($18,0\text{ млн КОЕ/мл}$), приведены в табл. 4.

Как следует из данных, представленных в табл. 4, ХвЦ обладает крайне низкой фильтрующей способностью в отношении уксуснокислых бактерий – задерживает только 6%, но отделяет 47% дрожжевых клеток.

Таблица 4. Фильтрующая способность образца хвойной целлюлозы, образцов композиционной бумаги и исходной гель-пленки бактериальной наноцеллюлозы

Table 4. Filtration capacity of coniferous cellulose, composite paper and the initial bacterial nanocellulose gel film

Образец	Количество микроорганизмов, млн КОЕ/мл	
	дрожжевые клетки	уксуснокислые бактерии
До фильтрации	8,5	18,0
После фильтрации на фильтре		
Исходная ХвЦ	4,5	17,1
БНЦ:ХвЦ 10:90	2,3	16,2
БНЦ:ХвЦ 30:70	0,5	8,4
БНЦ:ХвЦ 50:50	0,2	6,2
БНЦ:ХвЦ 60:40	0,1	3,6
БНЦ:ХвЦ 70:30	0,0	1,7
БНЦ:ХвЦ 90:10	0,0	0,5
Исходная гель-пленка БНЦ	0,0	0,0

Известно, что для достижения эффективного фильтрования (удерживания) микроорганизмов необходимо, чтобы размер пор фильтра был меньше, чем размер микроорганизмов. По литературным данным [4], размер пор БНЦ имеет широкий диапазон, например, 12–24 нм (метод БЭТ), от 10 до 430 нм (РЭМ). Дрожжи разных родов могут иметь 1,0–5,0 мкм в диаметре и 1,0–10,0 мкм в длину, а размер уксуснокислых бактерий – от 0,6 до 0,8 мкм в диаметре и от 1,0 до 7,0 мкм в длину [32]. В отличие от крупнопористой хвойной целлюлозы БНЦ можно назвать нанопористым материалом, поэтому размер пор БНЦ достаточен для удерживания этих микроорганизмов.

Добавление всего лишь 10% БНЦ в композиционную бумагу увеличивает фильтрующую способность по отношению к дрожжевым клеткам в 2,0 раза, по отношению к уксуснокислым бактериям – только в 1,1 раза в сравнении с ХвЦ. Это связано с размерами и формой клеток: дрожжевые клетки крупнее, чем клетки уксуснокислых бактерий, и имеют сферическую или эллипсоидальную форму, уксуснокислые бактерии – это мелкие палочки. При повышении доли БНЦ в образцах композиционной бумаги улучшается фильтрующая способность образцов. Полученные результаты хорошо коррелируют с данными РЭМ (см. рисунок), демонстрирующими «уплотнение» пространства композиционной бумаги при повышении доли наноразмерных волокон БНЦ в образцах [5]. Полное удерживание дрожжей достигается при содержании БНЦ в композиционной бумаге 70%, полное удерживание уксуснокислых бактерий достигается только при использовании в качестве фильтрующего материала исходных гель-пленок БНЦ.

ВЫВОДЫ

На основании результатов определения прочностных и деформационных характеристик образцов композиционной бумаги, изготовленных из БНЦ и ХвЦ в соотношении 20:80 двумя методами: суспензионным с выдержкой и с поверхностным нанесением БНЦ на отливки ХвЦ, выбран последний метод в связи с более высо-

кими значениями прочности и деформации. Установлен факт повышения основных показателей прочности: сопротивление раздиранию – на 37% (1090 против 795 мН), сопротивление продавливанию – на 17% (440 против 375 кПа), и деформационных показателей: жесткость при растяжении – на 66% (736 против 443 кН/м), работа разрушения – на 8% (135,9 против 125,7 Дж/м²), разрывная длина – на 4% (7870 против 7530 м).

Методом с поверхностным нанесением БНЦ на отливки ХвЦ получены образцы композиционной бумаги в широком диапазоне соотношения БНЦ и ХвЦ: 10:90, 30:70, 50:50, 60:40, 70:30, 90:10. Результаты РЭМ подтверждают, что все образованные композиции состоят из переплетенных наноразмерных волокон БНЦ и микроразмерных волокон ХвЦ. Наблюдается увеличение доли сетчатых наноразмерных фрагментов по мере повышения доли БНЦ в композициях.

Методом ИК-спектроскопии показано сходство валентных колебаний для всех образцов композиционной бумаги и соответствие валентным колебаниям целлюлозы, что подтверждает их целлюлозную структуру.

По результатам определения СП целлюлозы в образцах композиционной бумаги установлено, что возрастание значений СП прямо пропорционально увеличению доли БНЦ в образцах.

Изучена фильтрующая способность образцов композиционной бумаги по отношению к микроорганизмам культуральной жидкости продуцента *Medusomyces gisevii* Sa-12 в сравнении с исходными ХвЦ и гель-пленкой БНЦ. Установлено, что добавление 10% БНЦ в композиционную бумагу увеличивает фильтрующую способность по отношению к дрожжевым клеткам в 2,0 раза, по отношению к уксуснокислым бактериям – в 1,1 раза в сравнении с исходной ХвЦ. Полное удерживание дрожжей достигается при содержании в композиционной бумаге 70% БНЦ, при этом 10% уксуснокислых бактерий проходят через композицию. При использовании в качестве фильтрующего материала исходной гель-пленки БНЦ

достигается полное удерживание всех микроорганизмов культуральной жидкости. Представленные свойства нового материала (композици-

онной бумаги из БНЦ и ХВЦ) обуславливают перспективы его использования для фильтрации микроорганизмов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Gama M., Dourado F., Bielecki S. Bacterial nanocellulose. From biotechnology to bio-economy. Amsterdam: Elsevier, 2016. 260 p.
2. Isik Z., Unyayar A., Dizge N. Filtration and Antibacterial Properties of Bacterial Cellulose Membranes for Textile Wastewater Treatment // *Avicenna Journal of Environmental Health Engineering*. 2018. Vol. 5. Issue 2. P. 106–114. <https://doi.org/10.15171/ajehe.2018.14>
3. Skočaj M. Bacterial nanocellulose in papermaking // *Cellulose*. 2019. Vol. 26. Issue 8-9. P. 6477–6488. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02566-y>
4. Alves A.A., Silva W.E., Belian M.F., Lins L.S.G., Galembeck A. Bacterial cellulose membranes for environmental water remediation and industrial wastewater treatment // *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2020. Vol. 17. Issue 7. P. 3997–4008. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02746-5>
5. Wu A., Hu X., Ao H., Chen Z., Chu Z., Jiang T., et al. Rational design of bacterial cellulose-based air filter with antibacterial activity for highly efficient particulate matters removal // *Nano Select*. 2021. Vol. 1. <https://doi.org/10.1002/nano.202100086>
6. Keshk S.M. Bacterial Cellulose Production and its Industrial Applications // *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*. 2014. Vol. 4. Issue 2. Article number 1000150. <https://doi.org/10.4172/2155-9821.1000150>
7. Velásquez-Riaño M., Bojacá V. Production of bacterial cellulose from alternative low-cost substrates // *Cellulose*. 2017. Vol. 24. Issue 7. P. 2677–2698. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1309-7>
8. Hussain Z., Sajjad W., Khan T., Wahid F. Production of bacterial cellulose from industrial wastes: a review // *Cellulose*. 2019. Vol. 26. Issue 5. P. 2895–2911. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02307-1>
9. Gregory D.A., Tripathi L., Fricker A.T.R., Asare E., Orlando I., Raghavendran V., et al. Bacterial cellulose: A smart biomaterial with diverse applications // *Materials Science and Engineering: R: Reports*. 2021. Vol. 145. N 100623. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2021.100623>
10. Santmarti A., Liu H.W., Herrera N., Lee K.-Y. Anomalous tensile response of bacterial cellulose nanopaper at intermediate strain rates // *Scientific Reports*. 2020. Vol. 10. Issue 1. Article number 15260. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72153-w>
11. Смирнова Е.Г., Лоцманова Е.М. Применение бактериальной целлюлозы в композиции бумажной массы для механизированной реставрации старинных документов // *Вестник Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна. Серия 1: Естественные и технические науки*. 2019. N 2. С. 83–87.
12. Santos S.M., Carbajo J.M., Gómez N., Ladero M., Villar J.C. Paper reinforcing by in situ growth of bacterial cellulose // *Journal of Materials Science*. 2017. Vol. 52. Issue 10. P. 5882–5893. <https://doi.org/10.1007/s10853-017-0824-0>
13. Смирнова Е.Г., Лоцманова Е.М., Журавлева Н.М., Резник А.С., Вураско А.В., Дрикер Б.Н. [и др.]. Материалы из нетрадиционных видов волокон: технологии получения, свойства, перспективы применения: монография / под ред. А.В. Вураско. Екатеринбург: Изд-во УГЛТУ, 2020. 252 с.
14. Morena A.G., Roncero M.B., Valenzuela S.V., Valls C., Vidal T., Pastor F.I.J., et al. Lac-case/TEMPO-mediated bacterial cellulose functionalization: production of paper-silver nanoparticles composite with antimicrobial activity // *Cellulose*. 2019. Vol. 26. Issue 1. P. 8655–8668. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02678-5>
15. Phutanon N., Motina K., Chang Y.-H., Um-martyotin S. Development of CuO particles onto bacterial cellulose sheets by forced hydrolysis: a synergistic approach for generating sheets with photocatalytic and antibiofouling properties // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2019. Vol. 136. P. 1142–1152. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.168>
16. Lin D., Liu Z., Shen R., Chen S., Yang X. Bacterial cellulose in food industry: Current research and future prospects // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. Vol. 158. P. 1007–1019. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.230>
17. Buruaga-Ramiro C., Valenzuela S.V., Valls C., Roncero M.B., Pastor F.I.J., Díaz P., Martínez J. Development of an antimicrobial bioactive paper made from bacterial cellulose // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2020. Vol. 158. P. 587–594. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.234>
18. Luo H., Xie J., Xiong L., Zhu Y., Yang Z., Wan Y. Fabrication of flexible, ultra-strong, and highly conductive bacterial cellulose-based paper by engineering dispersion of graphene nanosheets // *Composites Part B: Engineering*. 2019. Vol. 162. P. 484–490. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.01.027>
19. Zhuravleva N.M., Reznik A.S., Kiesewetter D.V., Stolpner A.M., Smirnova E.G., Khripunov A.K. Improving the efficiency of power transformers insulation by modifying the dielectric paper with bacterial cellulose // *Journal of Physics: Conference Series*. 2019. N 012002. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1236/1/012002>
20. Zhuravleva N.M., Reznik A.S., Kiesewetter D.V., Stolpner A.M., Smirnova E.G., Budaeva V.V. Improvement of properties of cellulose dielectrics by their structure modification with nanocellulose pro-

duced of wastes of agricultural crops // Journal of Physics: Conference Series. 2020. Vol. 1410. N 012068. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1410/1/012068>

21. Cabañas-Romero L.V., Valls C., Valenzuela S.V., Roncero M.B., Pastor F.I.J., Díaz P., et al. Bacterial cellulose–chitosan paper with antimicrobial and antioxidant activities // Biomacromolecules. 2020. Vol. 21. Issue 4. P. 1568–1577. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.0c00127>

22. Buruaga-Ramiro C., Valenzuela S.V., Valls C., Roncero M.B., Pastor F.I.J., Díaz P., et al. Bacterial cellulose matrices to develop enzymatically active paper // Cellulose. 2020. Vol. 27. Issue 6. P. 3413–3426. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03025-9>

23. Budaeva V.V., Gismatulina Y.A., Mironova G.F., Skiba E.A., Gladysheva E.K., Kashcheyeva E.I., et al. Bacterial nanocellulose nitrates // Nanomaterials. 2019. Vol. 9. Issue 12. 1694. <https://doi.org/10.3390/nano9121694>

24. Shavyrkina N.A., Budaeva V.V., Skiba E.A., Mironova G.F., Bychin N.V., Gismatulina Yu.A., et al. Scale-up of biosynthesis process of bacterial nanocellulose // Polymers. 2021. Vol. 13. Issue 12. P. 1920. <https://doi.org/10.3390/polym13121920>

25. Hallac B.B., Ragauskas A.J. Analyzing cellulose degree of polymerization and its relevancy to cellulosic ethanol // Biofuels, Bioproducts and Biorefining. 2011. Vol. 5. Issue 2. P. 215–225. <https://doi.org/10.1002/bbb.269>

26. Скиба Е.А., Байбакова О.В., Гладышева Е.К., Будаева В.В. Исследование влияния дозировки инокулята *Medusomyces gisevii* Sa-12 на выход и степень полимеризации бактериальной целлюлозы // Известия вузов. Прикладная химия и биотех-

нология. 2019. Т. 9 N 3. С 420–429. <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-420-429>

27. Marsh A.J., O'Sullivan O., Hill C., Ross R.P., Cotter P.D. Sequence-based analysis of the bacterial and fungal Compositions of multiple kombucha (tea fungus) samples // Food Microbiology. 2014. Vol. 38. P. 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.09.003>

28. Chakravorty S., Bhattacharya S., Chatzino-tas A., Chakraborty W., Bhattacharya D., Gachhui R. Kombucha tea fermentation: Microbial and biochemical dynamics // International Journal of Food Microbiology. 2016. Vol. 220. P. 63–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.12.015>

29. Kashcheyeva E.I., Gladysheva E.K., Skiba E.A., Budaeva V.V. A study of properties and enzymatic hydrolysis of bacterial cellulose // Cellulose. 2019. Vol. 26. P. 2255–2265. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-02242-7>

30. Yin X., Zhang X., Yang J., Lin Q., Wang J., Zhu Q. Comparison of succinylation methods for bacterial cellulose and adsorption capacities of bacterial cellulose derivatives for Cu²⁺ ion // Polymer Bulletin. 2011. Vol. 67. Issue 3. P. 401–412. <https://doi.org/10.1007/s00289-010-0388-5>

31. Goh W.N., Rosma A., Kaur B., Fazilah A., Karim A.A., Bhat R. Microstructure and physical properties of microbial cellulose produced during fermentation of black tea broth (Kombucha). II. // International Food Research Journal. 2012. Vol. 19. Issue 1. P. 153–158.

32. Prescott S.C., Dunn C.G. Industrial Microbiology, 2th ed. New York: McGraw-Hill book co, 1949. 923 p.

REFERENCES

1. Gama M, Dourado F, Bielecki S. *Bacterial nanocellulose. From Biotechnology to BioEconomy*. Amsterdam: Elsevier; 2016. 260 p.

2. Isik Z, Unyayar A, Dizge N. Filtration and Antibacterial Properties of Bacterial Cellulose Membranes for Textile Wastewater Treatment. *Avicenna Journal of Environmental Health Engineering*. 2018;5(2):106–114. <https://doi.org/10.15171/ajehe.2018.14>

3. Skočaj M. Bacterial nanocellulose in papermaking. *Cellulose*. 2019;26(8-9):6477–6488. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02566-y>

4. Alves AA, Silva WE, Belian MF, Lins LSG, Galembeck A. Bacterial cellulose membranes for environmental water remediation and industrial wastewater treatment. *International Journal of Environmental Science and Technology*. 2020;17(7):3997–4008. <https://doi.org/10.1007/s13762-020-02746-5>

5. Wu A, Hu X, Ao H, Chen Z, Chu Z, Jiang T, et al. Rational design of bacterial cellulose-based air filter with antibacterial activity for highly efficient particulate matters removal. *Nano Select*. 2021;1. <https://doi.org/10.1002/nano.202100086>

6. Keshk SM. Bacterial Cellulose Production and its Industrial Applications. *Journal of Bioprocessing & Biotechniques*. 2014;4(2). Article number 1000150. <https://doi.org/10.4172/2155-9821.1000150>

7. Velásquez-Riaño M, Bojacá V. Production of bacterial cellulose from alternative low-cost substrates. *Cellulose*. 2017;24(7):2677–2698. <https://doi.org/10.1007/s10570-017-1309-7>

8. Hussain Z, Sajjad W, Khan T, Wahid F. Production of bacterial cellulose from industrial wastes: a review. *Cellulose*. 2019;26(5):2895–2911. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02307-1>

9. Gregory DA, Tripathi L, Fricker ATR, Asare E, Orlando I, Raghavendran V, et al. Bacterial cellulose: A smart biomaterial with diverse applications. *Materials Science and Engineering: R: Reports*. 2021;145: 100623. <https://doi.org/10.1016/j.mser.2021.100623>

10. Santmartí A, Liu HW, Herrera N, Lee K-Y. Anomalous tensile response of bacterial cellulose nanopaper at intermediate strain rates. *Scientific Reports*. 2020;10(1). Article number 15260. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-72153-w>

11. Smirnova EG, Lotsmanova EM. The use of

bacterial cellulose in the composition of paper pulp for the mechanized restoration of old documents. *Vestnik Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i dizaina. Seriya 1: Estestvennye i tekhnicheskie nauki = Vestnik of St. Petersburg State University of Technology and Design. Series 1. Natural and technical science.* 2019;2:83–87. (In Russian)

12. Santos SM, Carbajo JM, Gómez N, Ladero M, Villar JC. Paper reinforcing by in situ growth of bacterial cellulose. *Journal of Materials Science.* 2017;52(10):5882–5893. <https://doi.org/10.1007/s10853-017-0824-0>

13. Smirnova EG, Lotsmanova EM, Zhuravleva NM, Reznik AS, Vurasko AV, Driker BN, et al. *Materials from non-traditional types of fibers: production technologies, properties, application prospects.* Ekaterinburg: Izdatel'stvo Ural'skogo gosudarstvennogo lesotekhnicheskogo universiteta; 2020. 252 p. (In Russian)

14. Morena AG, Roncero MB, Valenzuela SV, Valls C, Vidal T, Pastor FIJ, et al. Laccase/TEMPO-mediated bacterial cellulose functionalization: production of paper-silver nanoparticles composite with antimicrobial activity. *Cellulose.* 2019;26(1):8655–8668. <https://doi.org/10.1007/s10570-019-02678-5>

15. Phutanon N, Motina K, Chang Y-H, Um-martyotin S. Development of CuO particles onto bacterial cellulose sheets by forced hydrolysis: a synergistic approach for generating sheets with photocatalytic and antibiofouling properties. *International Journal of Biological Macromolecules.* 2019;136:1142–1152. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.06.168>

16. Lin D, Liu Z, Shen R, Chen S, Yang X. Bacterial cellulose in food industry: Current research and future prospects. *International Journal of Biological Macromolecules.* 2020;158:1007–1019. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.230>

17. Buruaga-Ramiro C, Valenzuela SV, Valls C, Roncero MB, Pastor FIJ, Díaz P, Martínez J. Development of an antimicrobial bioactive paper made from bacterial cellulose. *International Journal of Biological Macromolecules.* 2020;158:587–594. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.04.234>

18. Luo H, Xie J, Xiong L, Zhu Y, Yang Z, Wan Y. Fabrication of flexible, ultra-strong, and highly conductive bacterial cellulose-based paper by engineering dispersion of graphene nanosheets. *Composites Part B: Engineering.* 2019;162:484–490. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2019.01.027>

19. Zhuravleva NM, Reznik AS, Kiesewetter DV, Stolpner AM, Smirnova EG, Khripunov AK. Improving the efficiency of power transformers insulation by modifying the dielectric paper with bacterial cellulose. *Journal of Physics: Conference Series.* 2019;012002. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1236/1/012002>

20. Zhuravleva NM, Reznik AS, Kiesewetter DV, Stolpner AM, Smirnova EG, Budaeva V.V. Im-

provement of properties of cellulose dielectrics by their structure modification with nanocellulose produced of wastes of agricultural crops. *Journal of Physics: Conference Series.* 2020;1410:012068. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1410/1/012068>

21. Cabañas-Romero LV, Valls C, Valenzuela SV, Roncero MB, Pastor FIJ, Díaz P, et al. Bacterial cellulose–chitosan paper with antimicrobial and antioxidant activities. *Biomacromolecules.* 2020;21(4):1568–1577. <https://doi.org/10.1021/acs.biomac.0c00127>

22. Buruaga-Ramiro C, Valenzuela SV, Valls C, Roncero MB, Pastor FIJ, Díaz P, et al. Bacterial cellulose matrices to develop enzymatically active paper. *Cellulose.* 2020;27(6):3413–3426. <https://doi.org/10.1007/s10570-020-03025-9>

23. Budaeva VV, Gismatulina YA, Mironova GF, Skiba EA, Gladysheva EK, Kashcheyeva EI, et al. Bacterial nanocellulose nitrates. *Nanomaterials.* 2019;9(12):1694. <https://doi.org/10.3390/nano9121694>

24. Shavyrkina NA, Budaeva VV, Skiba EA, Mironova GF, Bychin NV, Gismatulina YuA, et al. Scale-up of biosynthesis process of bacterial nanocellulose. *Polymers.* 2021;13(12):1920. <https://doi.org/10.3390/polym13121920>

25. Hallac BB, Ragauskas AJ. Analyzing cellulose degree of polymerization and its relevancy to cellulosic ethanol. *Biofuels, Bioproducts and Biorefining.* 2011;5(2):215–225. <https://doi.org/10.1002/bbb.269>

26. Skiba EA, Baibakova OV, Gladysheva EK, Budaeva VV. Study of the influence of *Medusomyces gisevii* Sa-12 inoculum dosage on bacterial cellulose yield and degree of polymerization. *Izvestiya Vuzov. Prikladnaya Khimiya i Biotekhnologiya = Proceedings of Universities. Applied Chemistry and Biotechnology.* 2019;9(3):420–429. (In English). <https://doi.org/10.21285/2227-2925-2019-9-3-420-429>

27. Marsh AJ, O'Sullivan O, Hill C, Ross RP, Cotter PD. Sequence-based analysis of the bacterial and fungal Compositions of multiple kombucha (tea fungus) samples. *Food Microbiology.* 2014;38:171–178. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2013.09.003>

28. Chakravorty S, Bhattacharya S, Chatzinotas A, Chakravorty W, Bhattacharya D, Gachhui R. Kombucha tea fermentation: Microbial and biochemical dynamics. *International Journal of Food Microbiology.* 2016;220:63–72. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.12.015>

29. Kashcheyeva EI, Gladysheva EK, Skiba EA, Budaeva VV. A study of properties and enzymatic hydrolysis of bacterial cellulose. *Cellulose.* 2019;26:2255–2265. <https://doi.org/10.1007/s10570-018-02242-7>

30. Yin X, Zhang X, Yang J, Lin Q, Wang J, Zhu Q. Comparison of succinylation methods for bacterial cellulose and adsorption capacities of bacterial cellulose derivatives for Cu²⁺ ion. *Polymer Bulletin.* 2011;67(3):401–412. <https://doi.org/10.1007/s00289-010-0388-5>

31. Goh WN, Rosma A, Kaur B, Fazilah A, Ka-

rim AA, Bhat R. Microstructure and physical properties of microbial cellulose produced during fermentation of black tea broth (Kombucha). II. *International*

Food Research Journal. 2012;19(1):153–158.

32. Prescott SC, Dunn CG. *Industrial Microbiology*, 2nd ed. New York: McGraw-Hill book Co; 1949. 923 p.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Гисматулина Юлия Александровна,
к.т.н., старший научный сотрудник,
Институт проблем химико-энергетических
технологий СО РАН,
659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1,
Российская Федерация,
e-mail: julja.gismatulina@rambler.ru

Будаева Вера Владимировна,
к.х.н., доцент, ведущий научный сотрудник,
Институт проблем химико-энергетических
технологий СО РАН,
659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1,
Российская Федерация,
✉ e-mail: budaeva@ipcet.ru

Ситникова Анастасия Евгеньевна,
инженер-исследователь,
Институт проблем химико-энергетических
технологий СО РАН,
659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1,
Российская Федерация,
e-mail: sitnikova97.97@mail.ru

Бычин Николай Валерьевич,
ведущий инженер,
Институт проблем химико-энергетических
технологий СО РАН,
659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1,
Российская Федерация,
e-mail: nbych@yandex.ru

Гладышева Евгения Константиновна,
к.т.н., научный сотрудник,
Институт проблем химико-энергетических
технологий СО РАН,
659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1,
Российская Федерация,
e-mail: evg-gladysheva@yandex.ru

Шавыркина Надежда Александровна,
к.т.н., доцент, старший научный сотрудник
Институт проблем химико-энергетических
технологий СО РАН,
659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1,
Российская Федерация,
e-mail: 32nadina@mail.ru

Миронова Галина Федоровна,
к.т.н., младший научный сотрудник,
Институт проблем химико-энергетических
технологий СО РАН,

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Yulia A. Gismatulina,
Cand. Sci. (Engineering), Senior Scientist,
Institute for Problems of Chemical
and Energetic Technologies SB RAS,
1, Socialisticheskaya St., Biysk, 659322,
Russian Federation,
e-mail: julja.gismatulina@rambler.ru

Vera V. Budaeva,
Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Leading Researcher,
Institute for Problems of Chemical
and Energetic Technologies SB RAS,
1, Socialisticheskaya St., Biysk, 659322,
Russian Federation,
✉ e-mail: budaeva@ipcet.ru

Anastasia E. Sitnikova,
Research Engineer,
Institute for Problems of Chemical
and Energetic Technologies SB RAS,
1, Socialisticheskaya St., Biysk, 659322,
Russian Federation,
e-mail: sitnikova97.97@mail.ru

Nikolay V. Bychin,
Leading Engineer,
Institute for Problems of Chemical
and Energetic Technologies SB RAS,
1, Socialisticheskaya St., Biysk, 659322,
Russian Federation,
e-mail: nbych@yandex.ru

Evgenia K. Gladysheva,
Cand. Sci. (Engineering), Researcher
Institute for Problems of Chemical
and Energetic Technologies SB RAS,
1, Socialisticheskaya St., Biysk, 659322,
Russian Federation,
e-mail: evg-gladysheva@yandex.ru

Nadezhda A. Shavyrkina,
Cand. Sci. (Chemistry), Associate Professor,
Senior Scientist,
Institute for Problems of Chemical
and Energetic Technologies SB RAS,
1, Socialisticheskaya St., Biysk, 659322,
Russian Federation,
e-mail: 32nadina@mail.ru

Galina F. Mironova,
Cand. Sci. (Engineering),
Junior Researcher,
Institute for Problems of Chemical

659322, г. Бийск, ул. Социалистическая, 1,
Российская Федерация,
e-mail: yur_galina@mail.ru

and Energetic Technologies SB RAS,
1, Socialisticheskaya St., Biysk, 659322,
Russian Federation,
e-mail: yur_galina@mail.ru

Севастьянова Юлия Вениаминовна,
к.т.н., доцент, директор
Инновационно-технологического центра
«Современные технологии переработки
биоресурсов Севера»,
Северный (Арктический) федеральный
университет им. М.В. Ломоносова,
163002, г. Архангельск,
наб. Северной Двины, 17,
Российская Федерация,
e-mail: ysevastyanova@yandex.ru

Yulia V. Sevastyanova,
Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor,
Director of the Innovation and Technology Center
"Modern technologies for processing biological
resources of the North",
Northern (Arctic) Federal University named after
M.V. Lomonosov,
17, Severnaya Dvina Emb.,
Arkhangelsk, 163002,
Russian Federation
e-mail: ysevastyanova@yandex.ru

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад
в подготовку публикации.

Contribution of the authors

The authors contributed equally to this article.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта
интересов.

Conflict interests

The authors declare no conflict of interests re-
garding the publication of this article.

*Все авторы прочитали и одобрили оконча-
тельный вариант рукописи.*

*The final manuscript has been read and approved
by all the co-authors.*

*Поступила в редакцию 21.06.2021.
Одобрена после рецензирования 25.08.2021.
Принята к публикации 30.08.2021.*

*The article was submitted 21.06.2021.
Approved after reviewing 25.08.2021.
Accepted for publication 30.08.2021.*