

**ИЗМЕНЕНИЕ КАЧЕСТВЕННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ БУМАГИ ИЗ ВТОРИЧНОГО ВОЛОКНА
В КОМПОЗИЦИИ С БАКТЕРИАЛЬНОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗОЙ****Е. А. Рогова, В. А. Кожухов, Ю. Д. Алашкевич**

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева
Российская Федерация, 660037, г. Красноярск, просп. им. газеты «Красноярский рабочий», 31
E-mail: kat-rogo@yandex.ru

В современном мире древесина широко используется в различных отраслях. Самое распространенное ее применение связано с целлюлозно-бумажной промышленностью, которая ежегодно потребляет сотни миллионов кубических метров древесины. Лесные площади сокращаются в глобальном масштабе, и эта реальность имеет решающее значение для глобальной экологии. Нехватка древесины для бумажной промышленности стала большой проблемой, и по этой причине возникла необходимость принимать во внимание другие виды сырья. К альтернативным видам источников сырья можно отнести макулатуру и однолетние растения. Макулатура является наиболее важным сырьем для бумажной промышленности, но из нее можно производить бумагу только низкого качества. Поэтому все больше исследований направлено на улучшение качества вторичного волокна путем введения в его состав дополнительных составляющих.

В работе проведены исследования и представлены результаты по влиянию использования бактериальной целлюлозы в композиции с макулатурой различных марок, на изменение физико-механических характеристик готовой продукции.

Ключевые слова: макулатура, вторичное волокно, рециклинг, бактериальная целлюлоза.

Conifers of the boreal area. 2024, Vol. XLII, No. 2, P. 95–99

**CHANGING THE QUALITY INDICATORS OF RECYCLED FIBER PAPER IN A COMPOSITION
WITH BACTERIAL CELLULOSE****E. A. Rogova, V. A. Kozhukhov, Y. D. Alashkevich**

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology
31, Krasnoyarskii rabochii prospekt, Krasnoyarsk, 660037, Russian Federation
E-mail: kat-rogo@yandex.ru

In the modern world, wood is widely used in various industries. Its most common use is associated with the pulp and paper industry, which annually consumes hundreds of millions of cubic meters of wood. Forest areas are shrinking on a global scale, and this reality is crucial for the global ecology. The shortage of wood for the paper industry has become a big problem, and for this reason it has become necessary to take into account other types of raw materials. Alternative sources of raw materials include waste paper and annual plants. Waste paper is the most important raw material for the paper industry, but only low-quality paper can be produced from it. Therefore, more and more research is aimed at improving the quality of secondary fiber by introducing additional components into its composition.

The research is carried out and the results are presented on the effect of the use of bacterial cellulose in a composition with waste paper of various brands on the change in the physical and mechanical characteristics of the finished product.

Keywords: waste paper, secondary fiber, recycling, bacterial cellulose, composition with bacterial cellulose.

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время макулатура является самым востребованным сырьем для производства изделий бумажной продукции, за исключением бумаги для фильтрации, электроизоляционных, медицинских и иных видов бумажной продукции, где необходимо обеспечить высокие требования к химической чистоте и однородности готового продукта [1].

Все больше предприятий по производству бумажной продукции отдают предпочтение вторичному сы-

рью. При этом они производят замещение целлюлозы, вторичным волокном, как частично, так и полностью при производстве бумажной продукции различного назначения [2].

Первичные волокна целлюлозы отличаются от вторичных волокон макулатуры изначально более высокими бумагообразующими характеристиками. Авторы в своем исследовании [3], связывают это с тем, что состав макулатурной массы, во-первых, состоит из множества волокон разнообразного проис-

хождения и состояния. Помимо этого макулатурная масса может содержать различные примеси не связанные с бумажным производством. Во-вторых, снижение этих характеристик связывают с разделением макулатуры на группы, которые характеризуют ее качество. Макулатура группы А считается высококачественной, группы Б – среднего качества и группы В – низкого качества [4]. Также в своем исследовании авторы доказывают, что физико-механические показатели готовой продукции из макулатуры на прямую зависят от качества макулатуры, то есть от ее группы. Чем выше качество макулатуры, тем выше физико-механические показатели готовой продукции. И в-третьих, и это самое главное, физико-механические характеристики становятся хуже с каждым последующим циклом (многократным использованием) переработки макулатуры [4]. Это связано с тем, что при каждой вторичной, либо последующей механической и термической обработки волокна, меняется его физическое и химическое строение. Химическое строение меняется в связи с уменьшением свободных гидроксильных групп, которые могут образовывать водородные связи, так необходимых для сцепления волокон при формировании готового изделия. Этот процесс называется «ороговением» и он является необратимым, потому что происходит утоньшение клеточной стенки и как следствие приводит к снижению такого бумагообразующего фактора, как водоудерживающая способность. Физическое изменение волокна связано с расслоением волокон, что приводит к внутреннему фибрированию, а так же к значительным изменением длины волокна, что приводит к ухудшению фракционного состава вторичной волокнистой массы. И как следствие всех физических изменений волокна, готовая продукция из такой массы становится хрупкой [5].

Для решения вышеуказанных проблем, с вторичным волокном было проведено множество исследований. Все эти исследования можно объединить в группы и представить в виде классификации. Основной классифицирующий признак заключается в способе воздействия на вторичное волокно. На основе этого признака было выделено две основные группы: механический способ воздействия на вторичное волокно и химический способ воздействия на вторичное волокно. Под механическим способом улучшения качества вторичного волокна понимается размол на различного рода мельницах, использование гидравлических способов воздействия на волокно (безножевой размол, роспуск с применением различного рода мешалок). Под химическим способом улучшения качества вторичного волокна понимается введение в состав вторичной волокнистой массы – добавок, которые непосредственно служат для улучшения протекания химической реакции при получении готовой продукции.

Авторы [6] предлагают использовать механический способ улучшения вторичного волокна. Он заключается в комбинировании известных способов роспуска волокна, что приводит к сохранению бумагообразующих свойств вторичного волокна и исключает щелочное потемнение массы.

Авторами [7] был использован химический способ улучшения вторичного волокна. Ими была разработана новая технология с применением специальных смол марки «Ультрарез DS», что так же доказывает улучшение физико-механических свойств картона из вторичного волокна, за счет большей глубины проникновения волокон.

Группа авторов [8] провела исследование по определению оптимальных параметров размола волокнистой массы из макулатуры группы А (что позволяет отнести данный способ к механическому способу улучшения вторичного волокна), что так же привело к улучшению физико-механических характеристик готовой продукции из полученной массы.

В данной работе, авторами было рассмотрено влияние комбинации механического и химического способов улучшения вторичного волокна на изменение физико-механических свойств готовой продукции полученной из макулатуры различных групп и марок. Комбинация включает в себя два этапа подготовки. Первый этап подготовки волокнистой массы – механический, методом роспуска в мешалки. Второй этап подготовки волокнистой массы – химический, заключается в введении в ее состав бактериальной целлюлозы.

Бактериальная целлюлоза (БЦ) – это уникальный биоматериал, который является по своей природе чистым материалом, в отличие от других биополимеров. Волокна бактериальной целлюлозы тоньше, чем волокна целлюлозы растительного происхождения. БЦ представляет собой высокопористые трехмерные сети. Кроме того, БЦ является биоразлагаемым, биосовместимым, нетоксичным и неаллергенным полимером. Несмотря на такие механические характеристики, бактериальная целлюлоза в то же время обладает хорошей упругостью, эластичностью, пластичностью [9].

Благодаря своим особым свойствам БЦ находит применение во многих отраслях, в том числе в технике, медицине и научных исследованиях, открывает новые широкие возможности для разработки нанотехнологии, в том числе в нашем случае в производстве бумаги [10].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для изучения влияния БЦ на физико-механические свойства готовой продукции были выбраны следующие марки макулатуры: МС-1А – отходы производства белой бумаги (кроме газетной): бумага для печати, писчая, чертежная, рисовальная, основа светочувствительной бумаги и другие виды белой бумаги; МС-8В – отходы производства и потребления газет и газетной бумаги; МС-3А – отходы производства бумаги из сульфатной небеленой целлюлозы: упаковочной, шпагатной, электроизоляционной, патронной, мешочной и других видов бумаг. Данные марки макулатуры характеризуются высоким содержанием волокон из хвойных пород древесины.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Макулатура, каждой выбранной марки, была предварительно замочена на сутки в воде, а затем подвергнута роспуску на волокна в мешалки в течение

10 минут. Что бы выявить закономерность влияния БЦ на физико-механические свойства готовой продукции, были изготовлены опытные образцы отливок из 100 % вторичного растительного волокна (ВРВ) каждого вида. Затем была составлена композиция из БЦ и макулатуры выбранного вида в следующем процентном соотношении БЦ/ ВРВ: 10/90, 20/80, 30/70 (данные соотношения являются оптимальными на основе проведенных предварительных исследований [11]). Для данного исследования бактериальная целлюлоза была предоставлена Институтом биофизики СО РАН в городе Красноярск в виде гелевой пленки. Синтез бактериальной целлюлозы осуществлялся штаммом *Komagataeibacter Xylinum*.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЯ

Опытные образцы отливок из композиции БЦ/ ВРВ были выполнены в соответствии с требованиями [12] и исследованы на физико-механические характеристики, которые представлены на рисунках (рис. 1–3).

На рис. 1 представлена зависимость сопротивления излому (число двойных перегибов) от % соотно-

шения БЦ при использовании в качестве основного компонента сырья макулатуры марки МС-1А, МС-8В, МС-3А. Как видно из рисунка, для каждой марки макулатуры качественные показатели практически близки. Что касается количественных значений, в случае с макулатурой высокого качества они имеют значительный прирост с повышением % БЦ. Макулатура низкого качества имеет не значительный прирост показателя сопротивления излому.

При добавлении 10 % БЦ к макулатуре разных марок не наблюдается существенного увеличения количественного значения показателя, в то время как при добавлении 20 % БЦ к макулатуре марки МС-1А дает резкое увеличение показателя почти в 8 раз, марки МС-8В – в 5 раз, а марка МС-3А в 2,5 раза. При дальнейшем добавлении 30 % БЦ к макулатуре наблюдается увеличение показателя у марки МС-1А в 20 раз, у марки МС-3А и МС-8В в среднем в 9 раз. Не смотря на то, что макулатура марки МС-3А и МС-8В имеет одинаковое значение увеличения степени показателя, их количественные характеристики различаются примерно на 250 единиц.

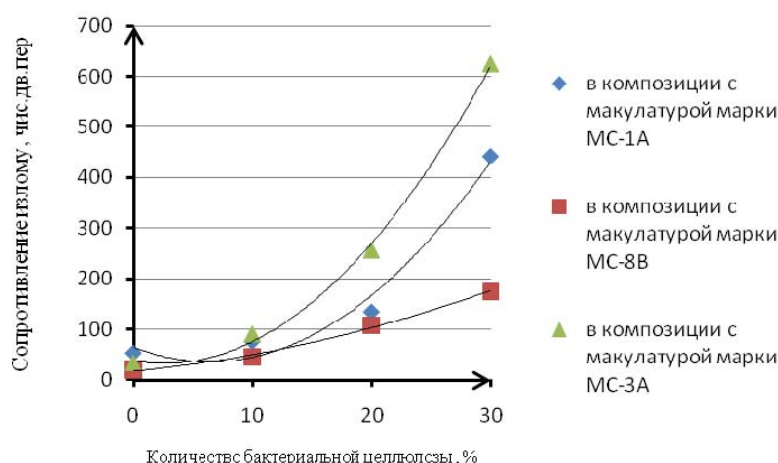


Рис. 1. Физико-механические показатели качества бумажных отливок. Соотношение влияния количества бактериальной целлюлозы на сопротивление излому

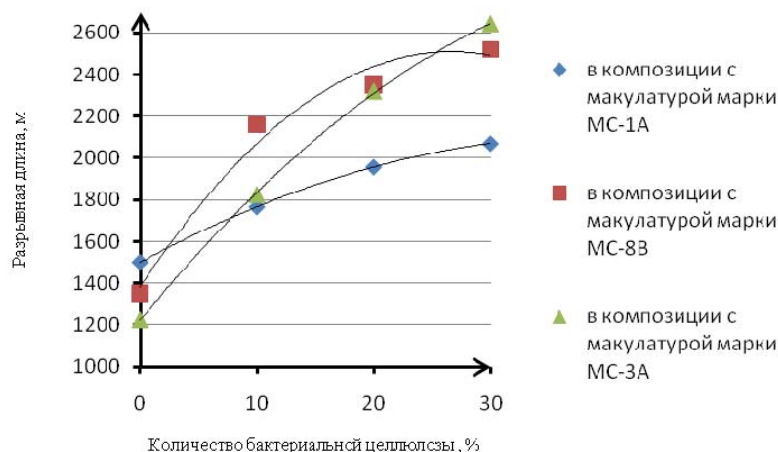


Рис. 2. Физико-механические показатели качества бумажных отливок. Соотношение влияния количества бактериальной целлюлозы на разрывную длину

На рис. 2 представлена зависимость разрывной длины от % соотношения БЦ при использовании в качестве основного компонента сырья макулатуры марки МС-1А, МС-8В, МС-3А. Как видно из рисунка все три вида использованной макулатуры имеют достаточно близкие друг к другу качественные значения. Для макулатуры марки МС-1А наблюдается зависимость близкая к линейной зависимости с небольшими количественными изменениями значений, не смотря на то, что эта макулатура высокого качества. Что касается макулатуры марки МС-3А и МС-8В то наблюдается значительно более высокие значения разрывной длины по сравнению с макулатурой марки МС-1А. Качественные показатели при добавлении 10 % БЦ у макулатуры марки МС-1А увеличились на 10 %, у МС-3А на 50 %, а у МС-8В на 90 %, в то время как МС-1А и МС-3А имеют фактически одинаковые значения. При добавлении 20 % БЦ качественные показатели значительно увеличиваются у макулатуры марок МС-3А и МС-8В, хотя их количественные показате-

тели фактически близки. Значительная разница в приросте показателя сопротивление излому от показателя разрывной длины при добавлении БЦ объясняется природой данного волокна, обладающего при малой длине (наноцеллюлоза) и диаметре – высокой гибкостью.

На рис. 3 представлена зависимость сопротивление продавливанию от % соотношения БЦ при использовании в качестве основного компонента сырья макулатуры марки МС-1А, МС-8В, МС-3А. Как видно из рисунка качественные значения продавливанию близки друг к другу и при добавлении 20 % БЦ имеют очень близкие значения. Не смотря на это, макулатура марки МС-3А имеет больший показатель прироста при увеличении % БЦ, в среднем в 3 раза, в то время как показатель у макулатуры марки МС-1А и МС-8В увеличился в 2 раза. Не смотря на то, что показатель при 30 % БЦ выше у макулатуры марки МС-3А, он не значительно отличается от количественных показателей макулатуры марки МС-1А и МС-8В.

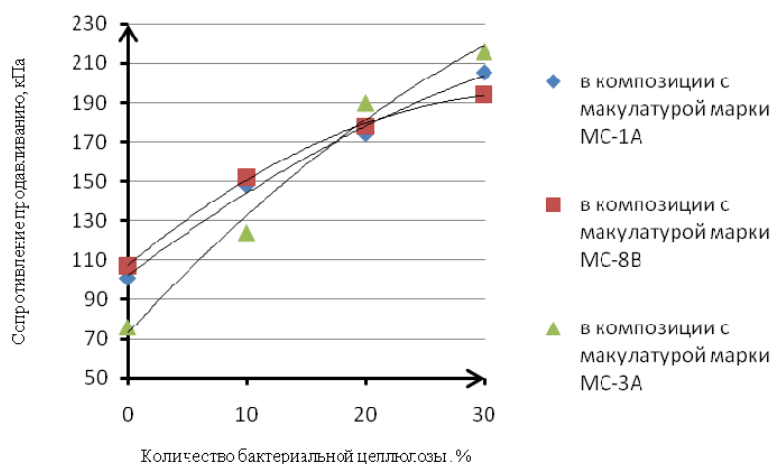


Рис. 3. Физико-механические показатели качества бумажных отливок. Соотношение влияния количества бактериальной целлюлозы на сопротивление продавливанию

ВЫВОДЫ

На основании проведенных исследований по применению БЦ в композиции с вторичным волокном (макулатурой) различных марок, была доказана ее эффективное применение для улучшения физико-механических характеристик готовых изделий.

Добавление 30 % БЦ в состав композиции вторичного волокна привело к увеличению величины сопротивления продавливанию в среднем на 100 % независимо от группы использованной макулатуры. Величина разрывной длины увеличивается в диапазоне от 30 до 100 %, не смотря на то, что макулатура низкого качества имеет примерно те же показатели прироста, что и макулатура высокого качества. Но макулатура разных марок внутри группы А имеет разные показатели прироста, что может быть связано с различной природой первоначального волокна и способом его подготовки.

Показатель сопротивление излому имеет стабильный прирост в % соотношении и достигает достаточно высоких значений.

Анализируя отдельные физико-механические характеристики готовых изделий можно сделать выводы, что с использованием макулатуры любой группы и добавлением БЦ можно получить бумагу высокого качества.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЕ ССЫЛКИ

1. Комаров А. С. Анализ производства бумаги из вторичного сырья и анализ марок макулатуры // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2022. № 5. С. 482–487.
2. Шабие Р. О., Смолин А. С., Парамонова Л. Л. Изготовление и испытание лабораторных образцов бумаги и картона из вторичного сырья : учеб. пособие. СПб. : СПбГТУРП, 2013. 66 с.
3. Кулешов А. В., Смолин А. С. Влияние цикличности использования макулатурного волокна на бумагообразующие свойства // Лесной журнал. 2008. № 4. С. 131–138.
4. Комаров А. С. Анализ производства бумаги из вторичного сырья и анализ марок макулатуры // Из-

вестия ТулГУ. Технические науки. 2022. № 5. С. 482–478.

5. ГОСТ 10700–97. Макулатура бумажная и картонная. Технические условия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://docs.cntd.ru/document/1200030476> (дата обращения: 14.12.2023).

6. Пенкин А. А. Перспективы рециклинга трудно-разволокняемой макулатуры, содержащей полиамид-амин-эпихлоргидриновые смолы // Труды БГТУ. Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2021. № 2. С. 159–165.

7. Теоретические основы технологии повышения прочности картона из макулатуры полимерами / С. Л. Андреева, С. Ю. Кожевников, Д. А. Дулькин, В. К. Дубовый // Химия растительного сырья. 2011. № 1. С. 179–181.

8. Повышение бумагообразующих свойств вторичных волокнистых материалов / А. А. Каверина, В. В. Горжанов, А. А. Пенкин, Т. М. Соловьева // Труды БГТУ. Серия 2: Химические технологии, биотехнология, геоэкология. 2011. № 4. С. 160–162.

9. Композиционная бумага из бактериальной целлюлозы 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. // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2021. Т. 11, № 3. С. 460–471.

10. Состояние и перспективы совершенствования способов получения и использования бактериальной целлюлозы (обзор) / Е. А. Рогова, Ю. Д. Алашкевич, В. А. Кожухов, И. Р. Лапин, Е. Г. Киселев // Химия растительного сырья. 2022. № 4. С. 27–46. DOI 10.14258/jcrpm.20220411373.

11. Влияние композиции с бактериальной целлюлозой на прочностные характеристики бумажных отливок / И. Р. Лапин, Е. А. Рогова, Ю. Д. Алашкевич // Молодые ученые в решении актуальных проблем науки : сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых. Красноярск : СибГУИм. М. Ф. Решетнева. 2023. С. 232–235.

12. Технология целлюлозно-бумажного производства : справ. материалы : в 3 т / Всерос. науч.-исслед. ин-т целлюлоз.-бумаж. пром-сти (ВНИИБ) ; отв. ред. П. С. Осипов. СПб. : СПб ЛТА, 2003. 633 с.

REFERENCES

1. Komarov A. S. Analiz proizvodstva bumagi iz vtorichnogo syr'ya i analiz marok makulatury // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskiye nauki. 2022. № 5. S. 482–487.

2. Shabiye R. O., Smolin A. S., Paramonova L. L. Izgotovleniye i ispytaniye laboratornykh obraztsov bumagi i kartona iz vtorichnogo syr'ya : ucheb. posobiye. SPb. : SPbGTURP, 2013. 66 s.

3. Kuleshov A. V., Smolin A. S. Vliyaniye tsiklichnosti ispol'zovaniya makulturnogo volokna na bumago-obrazuyushchiye svoystva // Lesnoy zhurnal. 2008. № 4. S. 131–138.

4. Komarov A. S. Analiz proizvodstva bumagi iz vtorichnogo syr'ya i analiz marok makulatury // Izvestiya TulGU. Tekhnicheskiye nauki. 2022. № 5. S. 482–478.

5. GOST 10700–97. Makulatura bumazhnaya i kartonnaya. Tekhnicheskiye usloviya. [Elektronnyy resurs]. Rezhim dostupa: <https://docs.cntd.ru/document/1200030476> (data obrashcheniya: 14.12.2023).

6. Penkin A. A. Perspektivy retsiklinga trudnorazvolknayemoy makulatury, soderzhashchey poliamidamin-epikhlorgidrinovyye smoly // Trudy BGTU. Khimicheskkiye tekhnologii, biotekhnologii, geokologiya. 2021. № 2. S. 159–165.

7. Teoreticheskkiye osnovy tekhnologii povysheniya prochnosti kartona iz makulatury polimerami / S. L. Andreyeva, S. Yu. Kozhevnikov, D. A. Dul'kin, V. K. Dubovyy // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2011. № 1. S. 179–181.

8. Povysheniye bumagoobrazuyushchikh svoystv vtorichnykh voloknistykh materialov / A. A. Kaverina, V. V. Gorzhanov, A. A. Penkin, T. M. Solov'yeva // Trudy BGTU. Seriya 2: Khimicheskkiye tekhnologii, biotekhnologiya, geokologiya. 2011. № 4. S. 160–162.

9. Kompozitsionnaya bumaga iz bakterial'noy nanotsellyulozy i khvoynoy tsellyulozy / Yu. A. Gismatulina, V. V. Budayeva, A. E. Sitnikova, N. V. Bychin, E. K. Gladysheva, N. A. Shavyrkin, G. F. Mironova, // Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya. 2021. T. 11, № 3. S. 460–471.

10. Sostoyaniye i perspektivy sovershenstvovaniya sposobov polucheniya i ispol'zovaniya bakterial'noy tsellyulozy (obzor) / E. A. Rogova, Yu. D. Alashkevich, V. A. Kozhukhov, I. R. Lapin, E. G. Kiselev // Khimiya rastitel'nogo syr'ya. 2022. № 4. S. 27–46. DOI 10.14258/jcrpm.20220411373.

11. Vliyaniye kompozitsii s bakterial'noy tsellyulozoy na prochnostnyye kharakteristiki bumazhnykh otlivok / I. R. Lapin, E. A. Rogova, Yu. D. Alashkevich // Molodyye uchenyye v reshenii aktual'nykh problem nauki : sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh. Krasnoyarsk : SibGUim. M. F. Reshetneva. 2023. S. 232–235.

12. Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva : sprav. materialy : v 3 t / Vseros. nauch.-issled. in-t tsellyuloz.-bumazh. prom-sti (VNIIB) ; отв. red. P. S. Osipov. SPb. : SPb LTA, 2003. 633 s.

© Рогова Е. А., Кожухов В. А.,
Алашкевич Ю. Д., 2024

Поступила в редакцию 30.10.2023
Принята к печати 15.04.2024