

УДК 676.22.017:677.1.002.68

СТРУКТУРА БУМАГИ С ДОБАВЛЕНИЕМ ЦЕЛЛЮЛОЗНОЙ МАССЫ ИЗ КОРЫ ВЕТОК ТУТОВОГО ДЕРЕВА

© *Х.А. Бабаханова*^{1*}, *З.К. Галимова*¹, *М.М. Абдуназаров*¹, *И.И. Исмоилов*²

¹ *Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности,
ул. Шохжахон, 5, Ташкент, 100100 (Республика Узбекистан),
e-mail: halima300@inbox.ru*

² *Наманганский инженерно-технологический институт, ул. Касансай, 7,
Наманган, 160115 (Республика Узбекистан)*

В статье для исследования структуры бумаги, в композиции которой целлюлозная масса из внутреннего слоя коры веток тутового дерева, изучены ее впитывающая способность и сорбционные свойства. Впитывающую способность бумаги определяли по массе воды, поглощенной поверхностью бумаги при смачивании одной стороны испытуемого образца. Выявлено, что добавление целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева в хлопковую бумажную массу способствует упрочнению структуры, что подтверждается значениями механической прочности и поверхностной впитываемости при одностороннем смачивании водой. Для изучения физической структуры бумажного листа исследовали сорбцию паров воды на высоковакуумной сорбционной установке с ртутными затворами и кварцевыми весами Мак-Бена. На основании изотерм сорбции, имеющих S-образную форму, определено, что самыми высокими сорбционными свойствами обладает образец бумаги, где в композиции только целлюлозная масса из внутреннего слоя коры веток тутового дерева, что свидетельствует о наличии неупорядоченных аморфных участков, где доступность молекулам воды более высокая. Установлено, что для получения бумаги, структура которой обеспечила избирательное впитывание низкомолекулярной жидкости, достаточно 10–20% добавление целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева в бумажную массу, дальнейшее добавление приведет при печати к несовмещению контуров красок за счет значительной деформации размеров бумаги.

Ключевые слова: бумага, структура, целлюлозная масса, внутренний слой коры веток, тутовое дерево, впитывающая способность, сорбционные свойства.

Введение

На качество воспроизведения и внешний вид печатной продукции, являющейся востребованной, несмотря на широкое распространение электронной информации, влияют как технологические параметры процесса печати, так и свойства используемых материалов, в число которых входит бумага [1–3].

Свойства бумаги, которые определяют ее как материал для печати, обусловлены в первую очередь такими факторами, как состав по волокну [4, 5], содержание в композиции наполнителей и вспомогательных веществ [6, 7], а также структура бумажного листа, характер взаимодействия растительных волокон, состояние его поверхности [8–11].

Бабаханова Халима Абишевна – доктор технических наук, профессор кафедры технологии полиграфического и упаковочного процессов, e-mail: halima300@inbox.ru

Галимова Зулфия Камилловна – ассистент кафедры технологии полиграфического и упаковочного процессов, e-mail: z.galimova8282@mail.ru

Абдуназаров Мансур Мехридинович – старший преподаватель кафедры технологии полиграфического и упаковочного процессов, e-mail: abdunazarov.1977@mail.ru

Исмоилов Икром Иброхим угли – соискатель кафедры химической технологии, e-mail: ikromzhon.ismailov@bk.ru

Капиллярно-пористый характер структуры бумажного листа предопределяет ее сорбционные свойства и впитывающую способность [12]. Это объясняется тем, что для структуры целлюлозного волокна характерно, с одной стороны, наличие упорядоченных кристаллических областей, где очень сильное межмолекулярное взаимодействие гидроксильных групп целлюлозных молекул, с другой стороны, неупорядоченных (аморфных) областей, где межмолекулярное взаимодействие ослаблено

* Автор, с которым следует вести переписку.

или в отдельных частях отсутствует. Большое количество неупорядоченных областей в физической структуре бумажного полотна способствует процессу сорбции, то есть самопроизвольному поглощению воды из окружающей среды, в результате растительные волокна набухают, увеличиваются в размерах. Высокие значения деформации бумажного листа при печатании приводят к несомещению контуров печатных красок.

В процессе печатания при взаимодействии бумаги с печатной краской после смачивания поверхности бумаги наблюдается процесс диффузии, связующий краски в поры и межволоконное пространство. Процесс закрепления (фиксации) пигмента на волокнах и получение контрастных насыщенных печатных оттисков зависит от впитывающей способности поверхности бумаги [13].

Одним из известных вариантов для изменения или регулирования капиллярно-пористого характера структуры бумаги для обеспечения четкости передачи растровых элементов изображения является использование растительных волокон с меньшим содержанием α -целлюлоз [14–16]. В связи с этим особый интерес представляют природные полимеры растительного происхождения, в частности целлюлозная масса из внутреннего слоя коры веток тутового дерева (шелковицы).

Целью данной работы является исследование влияния количества добавленной целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева в бумажную массу на капиллярно-пористый характер структуры бумаги.

Для достижения цели были решены следующие задачи:

- на основе предварительных исследований получена бумага на основе целлюлозы из хлопкового линта с добавлением целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева;
- для выяснения структурных особенностей бумаги на основе хлопковой целлюлозы с различным добавлением целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева исследованы впитывающая способность бумаги при одностороннем смачивании по методу Кобб₍₃₀₎ и сорбционные свойства;
- изучены характеристики полученных материалов и предложены рекомендации по их применению.

Экспериментальная часть

Объектами исследований являлись образцы бумаги на основе целлюлозы из хлопкового линта (ХЦ), полученной на Янгиюльской целлюлозно-бумажной фабрике по действующему технологическому режиму, с различным процентным добавлением целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева (ТЦ), которую получали из неиспользуемых в промышленности веток тутового дерева после удаления листьев. С них срезалась кора, которая замачивалась на некоторое время в воде, после чего с нее соскабливали наружный твердый слой, который разделялся на грубый внешний слой и более мягкий внутренний. Из внешнего слоя изготавливается бумага низкого сорта, а внутренний слой, взятый за основу исследования, в течение нескольких часов подвергался варке. Сваренный луб после промывки водой подвергался размолу в лабораторном ролле при следующих условиях: концентрация массы – 1%, температура – 22 °С. Свойства использованных целлюлоз представлены в таблице 1.

На листоотливном аппарате в лабораторных условиях получали бумажные отливки массой 80 г/м², в качестве наполнителя использовали каолин, расход которого составил 4% по отношению к массе, поверхностная проклейка 2% раствором КМЦ. Свойства образцов бумаги вставлены в таблице 2.

Для выявления структурных особенностей исследуемых образцов бумаги определили впитывающую способность бумаги при одностороннем смачивании по методу Кобб₍₃₀₎ (ГОСТ 12605-97 (ИСО 535-91)). Сущность данного метода заключается в определении массы воды (г), поглощенной поверхностью бумаги при смачивании одной стороны испытуемого образца, в определенных условиях в течение установленного времени, по разности взвешивания до и после смачивания и вычислении по формуле

$$\text{Кобб}_{(30)} = 100 \times (m_2 - m_1),$$

где m_2 – масса образца после испытания, г; m_1 – масса образца до испытания, г.

Для каждой испытуемой стороны рассчитывали среднее арифметическое значение пяти определений поверхностной впитываемости, округленное до 0.5 г/м².

Бумага, являющаяся полимером с гидроксильными группами, гигроскопична и поэтому поглощает влагу из атмосферы до тех пор, пока не достигнет равновесного состояния относительно воздуха окружающей среды [17]. В связи с этим большой интерес как с научной, так и с практической точки зрения представляет исследовать сорбцию низкомолекулярной жидкости, в частности воды целлюлозой [18–20].

Таблица 1. Свойства целлюлозы

Компоненты	Целлюлоза, полученная из	
	хлопкового линта	внутреннего слоя коры ветвей тутовника
α -целлюлоза [ГОСТ 6840-78]	99.1	85.6
Степень полимеризации [ГОСТ 9105-74]	1600	1700
Степень зольности, % [ГОСТ 7629-93]	0.5	0.85

Таблица 2. Физико-механические показатели образцов бумаги

№ образца	Композиционный состав бумаги ХЦ : ТЦ, %	Белизна, %	Разрывающее усилие, Н	Раврынная длина, м	Впитываемость при одностороннем смачивании, метод Кобб ₍₃₀₎ г/м ²
1	100 : 0	82	49.1	4170	21.5
2	90 : 10	80	51.1	4340	20.0
3	80 : 20	79	53.6	4560	18.5
4	70 : 30	78	55.6	4730	16.0
5	0 : 100	74	60.1	5110	12.0

На следующем этапе для изучения структурных особенностей полимера исследовали сорбцию паров воды. Сорбцию паров воды проводили на высоковакуумной сорбционной установке с ртутными затворами и кварцевыми весами Мак-Бена. Вакуумная часть установки предназначена для создания остаточного давления воздуха 10^{-3} Па, а в рабочей части непосредственно производятся сорбционные измерения. Перед проведением опытов исследуемые полимеры и воду предварительно обезгаживали при остаточном давлении 0.013 Па до постоянной массы. Подачу растворителя на образец осуществляли последовательно увеличивающими порциями. Суммарная относительная погрешность величины равновесного количества сорбированной воды на 1 г полимера не превышала 3%, относительная систематическая погрешность в измерении давления пара – 0.1%.

Обсуждение результатов

Нами изучено влияние количества добавляемого сырья на поверхностную впитываемость при одностороннем смачивании водой, на удельную поверхность, суммарный объем пор и объем насыщенности.

По значениям таблицы 2 выявлено, что добавление целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева в хлопковую бумажную массу способствовало увеличению механической прочности бумажного полотна и уменьшению ее поверхностной впитываемости при одностороннем смачивании водой.

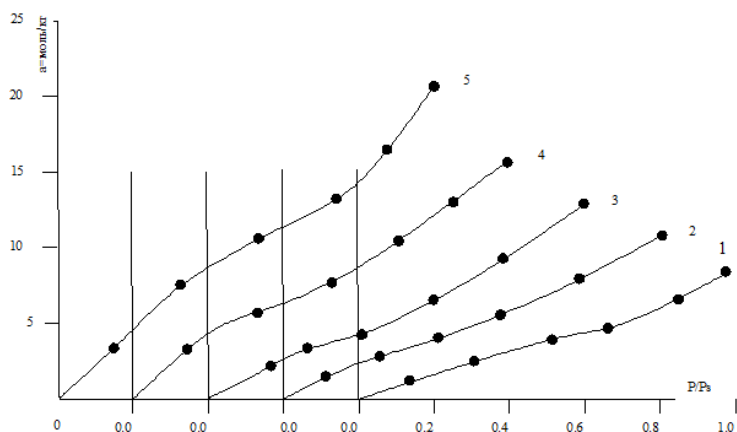
Значения сорбции в начальной стадии процесса (рис.) являются результатом связывания молекул воды и наиболее доступных первичных гидроксильных групп элементарного звена макромолекул целлюлозы, которые находятся в аморфных участках и на поверхностях кристаллитов. Интенсивность сорбции объясняется количеством связанной воды в неупорядоченных (аморфных) областях, где слабое межмолекулярное взаимодействие. По сорбционной способности можно судить о степени кристалличности, которая обратно пропорциональна ей [21].

Сравнивая изотермы адсорбции между собой, можно сказать, что наибольшей сорбционной способностью обладает образец 5, а наименьшей – образец 1. Количество адсорбированной воды у образца 2, то есть при 10%-ном добавлении в бумажную массу целлюлозной массы из коры веток тутового дерева, уменьшается на 52.4%, у образца 3 – на 61.9%, у образца 4 – на 76.2% относительно образца бумаги 5, в составе которого 100% тутовая целлюлоза (ТЦ). Отсюда следует, что для получения бумаги, структура которой имеет достаточную впитывающую способность, достаточно 10–20%-ное добавление целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева в бумажную массу, дальнейшее добавление приведет к деформации размеров бумажного листа, что приведет к несовмещению контуров красок при печати.

На основе изотерм сорбции паров воды (рис.) с помощью теории БЭТ определили параметры капиллярно-пористой структуры образцов: емкость монослоя (a_m), удельную поверхность (S), адсорбцию насыщенности (a_s), суммарный объем пор (W_0), мезопоры $W_{me}=V_s-W_0$ и объем насыщенности адсорбции (V_s). Результаты вычислений представлены в таблице 3.

По значениям емкости монослоя a_m определили количество адсорбата, который содержался в целиком заполненном монослое молекул на поверхности твердого тела, и вычислили удельную поверхность $S_{уд}$.

Удельная поверхность бумаги – это суммарная площадь поверхности единицы ее массы или объема, так же как и пористость бумаги, характеризовала структуру бумажного листа. Для расчета удельной поверхности сорбентов, для которых характерны S-образные изотермы сорбции (рис.), использовали уравнение БЭТ.



Изотермы адсорбции паров воды на образцах бумаги

Таблица 3. Параметры капиллярно-пористой структуры образцов по данным сорбции паров воды

Характеристики	Образец (композиционный состав бумаги ХЦ : ТЦ, %)				
	1	2	3	4	5
	100 : 0	90 : 10	80 : 20	70 : 30	0 : 100
Емкость монослоя a_m , г/г	0.0141	0.0204	0.0222	0.0364	0.0465
Удельная поверхность $S_{уд}$, м ² /г	89.34	130.2	141.8	232.2	277.5
Адсорбция насыщенности a_s , моль/кг	8.5	11	13	16	21
Суммарный объем пор $W_0 \cdot 10^3$, м ³ /кг	0.11	0.12	0.14	0.21	0.22
Объем мезопор $W_{ме} \cdot 10^3$, м ³ /кг	0.042	0.078	0.094	0.078	0.156
Объем насыщенности $V_s \cdot 10^3$, м ³ /кг	0.152	0.198	0.234	0.288	0.378

Как следует из таблицы 3, увеличение добавления целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева повлияло на значение параметров капиллярно-пористой структуры образца. При сравнении образцов параметры капиллярно-пористой структуры увеличиваются: удельная поверхность – от 89.3 до 277.5 м²/г, а суммарный объем микропор – от 0.11 до 0.22 м³/кг.

Согласно классификации академика М.М. Дубинина, удельная поверхность макропор составляет порядка 0.5–2.0 м²/г, мезопор – от 10 до 500 м²/г, у микропор может достигать 1000–2000 м²/г, при этом размеры пор меньше 2 нм. На основе полученных результатов по значениям удельной поверхности можно сказать, что размер мезопор в пределах от 18 до 28 нм.

По суммарному объему пор в целлюлозных материалах анализировали степень впитывания по количеству воды, поглощенной волокнами за счет заполнения пор и капилляров. При добавлении целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева суммарный объем пор увеличивается от 0.11 до 0.22 м³/кг, что свойственно по данным А.А. Тагера и др. целлюлозе. Усредненное значение объема пор в целлюлозных материалах составляет около 3% от общего объема материала.

Выводы

Таким образом, изучено влияние количества добавленной целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева в хлопковую бумажную массу на поверхностную впитываемость при одностороннем смачивании водой на удельную поверхность, суммарный объем пор и объем насыщенности.

Добавление целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева в хлопковую бумажную массу способствовало увеличению механической прочности бумажного полотна и уменьшению ее поверхностной впитываемости при одностороннем смачивании водой.

На основании изотерм сорбции, имеющих S-образную форму, определили, что самыми высокими сорбционными свойствами обладает образец бумаги 5, благодаря наличию аморфных участков, где доступность молекулам воды более высокая. Образец 1, где используется хлопковая целлюлоза, имеет относительно низкую сорбционную способность, что объясняется степенью кристалличности.

Для получения бумаги, структура которой имеет достаточную впитывающую способность, целесообразно 10–20%-ное добавление целлюлозной массы из внутреннего слоя коры веток тутового дерева в бумажную массу, дальнейшее добавление приведет к несовмещению контуров красок при печати за счет значительной деформации бумаги.

Список литературы

1. Стефанов С. Качество печатной продукции. М., 2005. 76 с.
2. Леонтьев В.Н. Облачность бумаги. Измерение. Влияние на качество отрисовок // Современные достижения в производстве и использовании бумаги и картона для печати. СПб., 2004. С. 119–126.
3. Ахмедова З.А., Бабаханова Х.А. Влияние композиции бумаги на качество печати // Проблемы текстиля. 2013. №2. С. 98–102.
4. Варепо Л.Г., Бабаханова Х.А. Влияние состава бумаги на показатели технических свойств // Омский научный вестник. 2014. №3 (133). С. 251–252.
5. Галимова З.К., Бабаханова Х.А. Исследование влияния введенного в состав бумаги солодковой целлюлозы на свойства бумаг // Проблемы текстиля. 2011. №4. С. 50–52.
6. Фляте Д.М. Технология бумаги. М.: Лесная промышленность, 1988. 440 с.
7. Бабаханова Х.А., Набиева И.А. Исследование свойств бумаг на основе солодковой целлюлозы с различными наполнителями // Полиграфия. 2011. №6. С. 53–54.
8. Зеленова С.В. Влияние структуры целлюлозно-бумажных материалов на их деформационные и прочностные свойства: дисс. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2007. 120 с.
9. Мирзаева М.Б., Бабаханова Х.А. Факторы, влияющие на специфические свойства бумаги конкретного назначения // Проблемы полиграфии и издательского дела. 2013. №2. С. 13–17.
10. Бабаханова Х.А., Аскарлов М.А. Оценка свойств бумаги из различных видов целлюлозы // Вестник СПбГУТД. 2014. №2. С. 57–59.
11. Babakhanova Kh.A., Varepo L.G., Nagornova I.V., Bablyuk E.B., Kondratov A.P. The Papers Printing Quality Complex Assessment Algorithm Development Taking into Account the Composition and Production Technological Features // Journal of Physics: Conference Series (MSQ-2017). 2018. Vol. 998. 012003. DOI:10.1088/1742-6596/998/1/012003
12. Технология целлюлозно-бумажного производства в III томах. СПб.: Политехника, 2006. Т. II. 499 с.
13. Фролов М.В. Структурная механика бумаги. М.: Лесная промышленность, 1982. 272 с.
14. Патент №2249636 (РФ). Способ получения целлюлозной массы из стеблей кукурузы / Х. Рю, Ч.К. Ким, Ж.-М. Вон. 10.04.2005.
15. Вураско А.В., Галимова (Минакова) А.Р., Дриккер Б.Н. Ресурсосберегающая технология получения целлюлозы при переработке отходов сельскохозяйственных культур // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2007. №1. С. 16–19.
16. Коптюх Л. Недревесная целлюлоза. О расширении сырьевой базы производства волокнистых полуфабрикатов // Бумага и жизнь. 2006. №6. С. 24–27.
17. Фляте Д.М. Свойства бумаги. М., 1986. 680 с.
18. Папков С.П., Файинберг Э.З. Взаимодействие целлюлозы и целлюлозных материалов с водой. М., 1976. 231 с.
19. Агеев М.А. Оценка удельной поверхности бумаги адсорбцией // Химия растительного сырья. 2011. №2. С. 165–168.
20. Гаврилова Н.Н., Назаров В.В. Анализ пористой структуры на основе адсорбционных данных: учеб. пособие. М., 2015. 132 с.
21. Рудобашта С.П., Карташов Э.М. Химическая технология: диффузионные процессы. Часть 1. М., 2018. 262 с.

Поступила в редакцию 14 мая 2020 г.

После переработки 1 июня 2020 г.

Принята к публикации 30 июня 2020 г.

Для цитирования: Бабаханова Х.А., Галимова З.К., Абдуназаров М.М., Исмоилов И.И. Структура бумаги с добавлением целлюлозной массы из коры веток тутового дерева // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 261–266. DOI: 10.14258/jcprm.2020047761.

Babakhanova Kh.A.^{1*}, *Galimova Z.K.*¹, *Abdunazarov M.M.*¹, *Ismoilov I.I.*² TEXTURE OF PAPER WITH THE ADDITION OF CELLULOSE PULP FROM THE BARK OF MULBERRY BRANCHES

¹ *Tashkent Institute of Textile and Light Industry, ul. Shokhjakhon, 5, Tashkent, 100100 (Republic of Uzbekistan), e-mail: halima300@inbox.ru*

² *Namangan Engineering and Technology Institute, st. Kasansay, 7, Namangan, 160115 (Republic of Uzbekistan)*

The article to study the texture of paper, in the composition of which the cellulose pulp from the inner layer of mulberry branches bark is added, studies the paper's absorbency and sorption properties. The absorbency of the paper was determined by the volume of water absorbed by the paper surface while wetting one side of the test sample. It was found that the addition of cellulose pulp from the inner layer of mulberry branch bark to the cotton paper pulp contributes to the strengthening of the structure which is confirmed by the values of mechanical strength and surface absorbency during one-side wetting with water. To study the physical structure of a paper sheet water vapor sorption was investigated in a high-vacuum sorption plant with mercury valves and quartz balances. On the basis of S-shaped sorption isotherms it is determined that the paper sample where the composition contains only cellulose pulp from the inner layer of the mulberry branches bark has the highest sorption properties which indicates the presence of disordered amorphous areas where the accessibility for water molecules is higher. It has been established that in order to obtain paper the structure of which ensured selective absorption of low-molecular fluid it is enough to add 10–20% of cellulose pulp from the inner layer of mulberry branches bark to the paper pulp; and further addition will result in misalignment of the paint contour during printing due to significant deformation of paper size.

Keywords: paper, texture, cellulose pulp, inner layer of branches bark, mulberry, absorbency, sorption properties.

References

1. Stefanov S. *Kachestvo pechatnoy produktsii*. [Quality of printed products]. Moscow, 2005, 76 p. (in Russ.).
2. Leont'yev V.N. *Sovremennyye dostizheniya v proizvodstve i ispol'zovanii bumagi i kartona dlya pechati*. [Modern achievements in the production and use of paper and cardboard for printing]. St. Petersburg, 2004, pp. 119–126. (in Russ.).
3. Akhmedova Z.A., Babakhanova Kh.A. *Problemy tekstilya*, 2013, no. 2, pp. 98–102. (in Russ.).
4. Varepo L.G., Babakhanova Kh.A. *Omskiy nauchnyy vestnik*, 2014, no. 3 (133), pp. 251–252. (in Russ.).
5. Galimova Z.K., Babakhanova Kh.A. *Problemy tekstilya*, 2011, no. 4, pp. 50–52. (in Russ.).
6. Flyate D.M. *Tekhnologiya bumagi*. [Paper technology]. Moscow, 1988, 440 p. (in Russ.).
7. Babakhanova Kh.A., Nabiyeva I.A. *Poligrafiya*, 2011, no. 6, pp. 53–54. (in Russ.).
8. Zelenova S.V. *Vliyaniye struktury tsellyulozno-bumazhnykh materialov na ikh deformatsionnyye i prochnostnyye svoystva: diss. ... kand. tekhn. nauk*. [The influence of the structure of cellulose and paper materials on their deformation and strength properties: diss. ... Cand. tech. sciences]. Arkhangel'sk, 2007, 120 p. (in Russ.).
9. Mirzayeva M.B., Babakhanova Kh.A. *Problemy poligrafii i izdatel'skogo dela*, 2013, no. 2, pp. 13–17. (in Russ.).
10. Babakhanova Kh.A., Askarov M.A. *Vestnik SPbGUTD*, 2014, no. 2, pp. 57–59. (in Russ.).
11. Babakhanova Kh.A., Varepo L.G., Nagornova I.V., Bablyuk E.B., Kondratov A.P. *Journal of Physics: Conference Series (MSQ-2017)*, 2018, vol. 998, 012003. DOI:10.1088/1742-6596/998/1/012003
12. *Tekhnologiya tsellyulozno-bumazhnogo proizvodstva v III tomakh*. [Technology of pulp and paper production in III volumes]. St. Petersburg, 2006, vol. II, 499 p. (in Russ.).
13. Frolov M.V. *Strukturnaya mekhanika bumagi*. [Structural mechanics of paper]. Moscow, 1982, 272 p. (in Russ.).
14. Patent 2249636 (RU). 10.04.2005. (in Russ.).
15. Vurasko A.B., Galimova (Minakova) A.R., Driker B.N. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2007, no. 1, pp. 16–19. (in Russ.).
16. Koptuykh L. *Bumaga i zhizn'*, 2006, no. 6, pp. 24–27. (in Russ.).
17. Flyate D.M. *Svoystva bumagi*. [Properties of paper]. Moscow, 1986, 680 p. (in Russ.).
18. Papkov S.P., Fayinberg E.Z. *Vzaimodeystviye tsellyulozy i tsellyuloznykh materialov s vodoy*. [Interaction of cellulose and cellulosic materials with water]. Moscow, 1976, 231 p. (in Russ.).
19. Ageyev M.A. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2011, no. 2, pp. 165–168. (in Russ.).
20. Gavrilo N.N., Nazarov V.V. *Analiz poristoy struktury na osnove adsorbtsionnykh dannykh: ucheb. posobiye*. [Analysis of the porous structure based on adsorption data: textbook. allowance]. Moscow, 2015, 132 p. (in Russ.).
21. Rudobashta S.P., Kartashov E.M. *Khimicheskaya tekhnologiya: diffuzionnyye protsessy. Chast' 1*. [Chemical technology: diffusion processes. Part 1]. Moscow, 2018, 262 p. (in Russ.).

Received May 14, 2020

Revised June 1, 2020

Accepted June 30, 2020

For citing: Babakhanova Kh.A., Galimova Z.K., Abdunazarov M.M., Ismoilov I.I. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 261–266. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprn.2020047761.

* Corresponding author.