

УДК 676.153.6

## ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ХИМИКО-ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ МАССЫ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ТОПОЛЯ

© *И.Н. Ковернинский*

*ООО Промышленный Парк «Уссурийский», Раковское шоссе, 1, Уссурийск, 692527 (Россия), e-mail: kovern@list.ru*

В статье приводится материал по исследованию химико-термомеханической массы (ХТММ) из древесины тополя, производства китайской фирмы WeifangderuibioloDgical TECHNOLOGDY CO., LTD. В результате исследования установлено:

ХТММ из древесины тополя имеет свойство легко размалываться со значительным повышением (на 30–80%) физико-механических показателей. Интервал возможной степени помола, в которой масса может использоваться с наибольшей эффективностью, рекомендуется 30–50 °ШР.

ХТММ в небеленом виде представляет собой высококачественный первичный волокнистый полуфабрикат, который может эффективно применяться в композиции с макулатурным волокном для производства бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев гофрированного картона (тест-лайнера). Добавки массы в композицию целесообразны в пределах 20–50%.

ХТММ в беленом виде является высококачественным первичным волокном для производства бумаги-основы различного санитарно-гигиенического назначения. Высокой эффективностью в придании свойств бумаге будут отличаться композиции с белой целлюлозой, в которых целлюлозу следует добавлять в пределах 15–20%.

При использовании хвойной заболонной древесины (сосны, лиственницы), характерным крупнотоннажным отходом российских предприятий, ожидается повышение механических свойств массы на 20–30%. Такая масса будет существенным фактором в развитии производства тарного картона, санитарно-гигиенических, а также других видов бумаг и картона.

Технология ХТММ, предлагаемая китайской фирмой WeifangderuibioloDgical TECHNOLOGDY CO., LTD, рекомендуется российским лесопромышленникам для использования. По своей значимости технология способна решать задачи по развитию производства целлюлозы, бумаги и картона, предусмотренные в «Стратегии развития лесного комплекса России до 2030 г».

*Ключевые слова:* химико-механическая масса, целлюлоза, макулатурное волокно, бумага для гофрирования, бумага-основа санитарно-гигиенической бумаги, физико-механические свойства, капиллярная впитываемость, пухлость.

### **Введение**

Правительство РФ утвердило «Стратегию развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г.». Среди основных направлений Стратегии – развитие ориентированного на экспорт производства целлюлозы, рост выпуска тарного картона и санитарно-гигиенических изделий для внутреннего рынка [1]. Укажем, что основополагающим из них является производство целлюлозы, так как выпуск тарного картона и санитарно-гигиенической бумаги не имеет перспективы развития без наличия необходимых ресурсов волокна – целлюлозы, древесной массы, макулатурного волокна. Это подтверждается рядом трудов [1–5], в которых авторы обосновывают роль различных волокнистых полуфабрикатов для развития производства бумаги и картона.

В последние два десятилетия лесопиление и деревообработка, отличающиеся низкой глубиной переработки древесины, интенсивно развивались. Объясняется это на порядки меньшими стартовыми капиталовложениями по сравнению с глубиной переработки древесины в волокнистые полуфабрикаты. Именно глубина переработки, а главное – возможность переработки накапливаемых гигантских отходов древесины лесоперерабатывающих предприятий (отходы 40–50%) в высококачественные волокнистые полуфабрикаты – это маловостребованное на сегодня достоинство глубокой химической переработки древесины. При этом рентабельность пе-

---

*Ковернинский Иван Николаевич* – доктор технических наук, профессор, академик РАЕН,  
e-mail: kovern@list.ru

реработки отходов равна или превышает прибыльность основной продукции. Основным сдерживающим фактором, не позволявшим широко воспользо-

ваться данным достоинством, было отсутствие эффективных экологически безопасных технологических установок для рентабельного малотоннажного производства волокнистых полуфабрикатов, приемлемых для переработки отходов древесного сырья отдельными лесоперерабатывающими предприятиями. Этот пробел ликвидирован китайскими машиностроителями. Выпускаются установки мощностью 20, 50, 100 и 200 т в сутки волокна, на что требуется, соответственно, 60-600 пл. м<sup>3</sup> древесного сырья в сутки, в виде технологической щепы или балансов [6]. О способе производства, предложенном китайцам, даны краткие сведения в труде [7]. Что касается применимости способа отдельными предприятиями, то это определяется ресурсом древесины, а они имеются в большинстве заготовителей и переработчиков леса.

Цель работы – дополнительное исследование физико-механических свойств химико-термомеханической массы (ХТММ) из древесины тополя, производства китайской фирмы WEIFANGDERUIBIOLOGICAL TECHNOLOGY CO., LTD [6]; заключение о пригодности волокна для производства тарного картона и санитарно-гигиенической бумаги; рекомендации об использовании установок для получения ХТММ в России.

### Экспериментальная часть

В работе был исследован образец белой ХТММ из древесины тополя со следующими показателями качества (табл. 1). Использовались методики и приборы, изложенные в трудах [8, 9].

Как следует из таблицы 1, при высоком выходе от массы древесины (80%), в целом, показатели качества массы можно оценивать как перспективные для использования в композициях целого ряда видов бумаги и картона. Что касается возможности ее применения для производства, например, бумаги для гофрирования, картона-лайнера и основы санитарно-гигиенической бумаги, то требовалось установить возможность повышения, прежде всего физико-механических показателей массы ее размолотом. Размол, как установлено многими исследованиями [10–12], является основным средством управления прочностью бумаги и картона.

Для исследования массу подвергли размолу в ЦРА до 43 °ШР. Отметим, что изменение степени помола с 24 до 43 °ШР потребовало 5.5 мин. Это характеризует массу как легкоразмалываемую. Требуется низкий удельный расход электроэнергии на размол. Сравнительные показатели качества массы до и после размолта приведены в таблице 2. В ней приведены для сравнения показатели макулатурного волокна из макулатуры МС-5Б, используемого для производства бумаги для гофрирования и тест-лайнера одного из российских предприятий [13–16].

Данные таблицы 2 позволяют видеть значительный прирост физико-механических показателей ХТММ со степенью помола 43 °ШР. В целом, увеличение для всех показателей наблюдается в интервале 30–80%. По своему качеству ХТММ превосходит волокно из макулатуры. Заметим, что сравнение ХТММ и макулатурного волокна при одинаковой степени помола, покажет преимущество качества макулатурного волокна. Но в технологии размол макулатурного волокна свыше 32–35 °ШР не применяется. В то время как ХТММ может применяться в интервале помола 30–50 °ШР. Особенно заметно влияние степени помола при анализе фракций макулатуры и ХТММ по длине волокна. Исследованиями авторов [17–18] подтверждено значительное и разнофакторное влияние размолта.

Представляло научный и практический интерес влияние ХТММ на физико-механические свойства композиции волокна в соотношении 50×50% с макулатурным волокном. Данные этого эксперимента приведены

в таблице 3. В ней указаны для сравнения требования ГОСТ Р 53206-2008 Бумага для гофрирования. Технические условия.

Анализ данных таблицы 3 позволяет констатировать, что композиция ХТММ и макулатурного волокна позволяет изготавливать бумагу для гофрирования массой 100 г/м<sup>2</sup>, близкую по качеству к высшей марке Б-0. При этом ХТММ следует использовать в небеленом виде. Как показали исследователи [19–21], наряду с размолотом волокна большое влияние на прочность бумаги оказывают факторы формования, определяемые условиями взаимодействия в гидросуспензиях бумажной массы.

Таблица 1. Показатели качества ХТММ из древесины тополя

Наименование показателя	Значение
Выход от массы а.с.д., %	80
Жесткость, единиц Каппа	99.6
Белизна, %	80
Степень помола, °ШР	24
Разрывная длина, м	2850
Разрывное усилие, Н	51
Сопротивление продавливанию, кПа	166
Излом, ч.д.п.	4
Сопротивление плоскостному сжатию, Н	239
Сопротивление торцевому сжатию, кН/м	1.64
Сорность, мм <sup>2</sup> /300 г	9–10
рН массы	8.0

Таблица 2. Сравнительные показатели качества ХТММ и макулатурного волокна

Наименование показателя	Значение		
	до размола	после размола	Макулатурное волокно, МС-5Б
Выход от массы а.с.д., %	80	80	...
Жесткость, единиц Каппа	99.6	99.6	...
Белизна, %	80	80	...
Степень помола, °ШР	24	43	28
Разрывная длина, м	2850	5580	3570
Разрывное усилие, Н	51	89	55
Сопротивление продавливанию, кПа	166	286	226
Излом, ч.д.п.	4	15	47
Сопротивление плоскостному сжатию, Н	239	345	...
Сопротивление торцевому сжатию, кН/м	1.64	2.27	...
Сорность, мм <sup>2</sup> /300 г	9–10	9–10	...
рН массы	8.0	8.0	7.0

Таблица 3. Физико-механические показатели бумаги для гофрирования. Композиция по волокну: 50% ХММ + 50% макулатурного волокна, МС-5Б

Наименование показателя	Бумага		Марки: ГОСТ Р 53206-2008	
	100 г/м <sup>2</sup>	125 г/м <sup>2</sup>	Б-0, 100 г/м <sup>2</sup>	Б-0, 125 г/м <sup>2</sup>
Степень помола массы, °ШР	31	31	–	–
Разрывная длина, м	4260	...	–	–
Разрывное усилие, Н	66	...	60	80
Излом, ч.д.а	31	...	–	–
Сопротивление продавливанию, кПа	251	...	195	320
Сопротивление плоскостному сжатию, Н	...	222	215	310
Сопротивление торцевому сжатию, кН/м	...	1.60	0.8	1.35

Что касается использования исследованной ХТММ в производстве основы санитарно-гигиенической бумаги, то по показателям качества она удовлетворяет основным требованиям к массе для этого производства. Волокнистая масса с показателями (табл. 2) позволяет обеспечивать максимально возможное сочетание в бумаге главных свойств – высокой механической прочности и капиллярной впитываемости при большой пухлости (показатель, обратный плотности бумаги). Для производства основы санитарно-гигиенической бумаги ХТММ может использоваться в интервале степени помола 30–50 °ШР и в композиции с белой целлюлозой (15–20% от массы ХТММ). Добавки целлюлозы позволят значительно расширить ассортимент изделий из бумаги-основы.

### Выводы и рекомендации

1. Исследованная ХТММ из древесины тополя имеет свойство легко размалываться со значительным повышением (на 30–80%) физико-механических показателей. Интервал возможной степени помола, в котором масса может использоваться с наибольшей эффективностью, рекомендуется 30–50 °ШР.

2. ХТММ в небеленом виде представляет собой высококачественный первичный волокнистый полуфабрикат, который может эффективно применяться в композиции с макулатурным волокном для производства бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев гофрированного картона (тест-лайнера). Добавки массы в композицию целесообразны в пределах 20–50%.

3. ХТММ в беленом виде является высококачественным первичным волокном для производства бумаги-основы различного санитарно-гигиенического назначения. Высокой эффективностью в придании свойств бумаге будут отличаться композиции с белой целлюлозой, в которых целлюлозу следует добавлять в пределах 15–20%.

4. Исследованная ХТММ произведена из древесины тополя. При использовании хвойной заболонной древесины (сосны, лиственницы), характерным крупнотоннажным отходом российских предприятий, ожидается повышение механических свойств массы на 20-30%. Такая масса будет существенным фактором в развитии производства тарного картона, санитарно-гигиенических, а также других видов бумаг и картона.

5. Технология ХТММ, предлагаемая китайской фирмой WEIFANGDERUIBIOLOGICAL TECHNOLOGICAL CO., LTD, рекомендуется российским лесопромышленникам для использования. По своей значимости технология способна решать задачи по развитию производства целлюлозы, бумаги и картона, предусмотренные в «Стратегии развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 г.».

**Список литературы**

1. Стратегия развития лесного комплекса Российской Федерации до 2030 года: постановление Правительства Рос. Федерации. Распоряжение от 20 сентября 2018 №1989-р. - М. – 77 с.
2. Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Комаров В.И. Современное состояние и перспективы развития использования вторичного волокна из макулатуры в мировой и отечественной индустрии бумаги. Архангельск, 2007. 118 с.
3. Смолин А.С., Дубовый В.К. Современное состояние и проблемы использования вторичного волокна в производстве бумаги и картона // Современные научные основы и инновационные технологии бумажно-картонных материалов с использованием вторичного волокна из макулатуры: материалы 7 Международной научно-технической конф. Караваево, 2006. С. 6–7.
4. Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Ковернинский И.Н., Комаров В.И. Проблемы повышения качества картонно-бумажной продукции из макулатуры // Современные научные основы и инновационные технологии бумажно-картонных материалов с использованием вторичного волокна из макулатуры: материалы 7 Международной научно-технической конф. Караваево, 2006. С. 42–46.
5. Papermaking Science and Technology. Tappi Press. 2000. Vol. 8. Papermaking. Part I., Stock Preparation and Wet End. 693 p.
6. Оборудование для подготовки целлюлозно-бумажной массы. Оборудование для очистки сточных вод. Материалы фирмы «Zibo Jeps Trading Co. Ltd». Zhangdian, Zibo, Shandong, China. 2018. 11 с.
7. Комаров В.И., Миловидова Л.А., Пузырев С.С., Чижов Г.И. Технология механической массы из щепы. Архангельск, 1991. 76 с.
8. Гурьев А.В., Дубовый В.К., Комаров В.И., Казаков Я.В. Лабораторный практикум по технологии бумаги и картона: учеб. пособие. СПб., 2006. 230 с.
9. Лабораторное оборудование для ЦБП. Каталог. ООО «ПТА-Санкт-Петербург». СПб., 2016. 189 с.
10. Лапин В.В., Смоляков А.М., Волков В.А., Кудрина Н.Д. Проблема прочностных свойств бумаги для гофрирования и картона для плоских слоев из 70–100% макулатуры: роль размола // Целлюлоза. Бумага. Картон. 2002. №9-10. С. 34–37.
11. Дулькин Д.А., Блинова Л.А., Блинушова О.И. Влияние степени помола фракций вторичного волокна на прочностные свойства картона // Химия растительного сырья. 2007. №1. С. 85–89.
12. Ковернинский И.Н., Дулькин Д.А., Кожевников С.Ю. Теоретические основы и технология придания прочности целлюлозно-бумажным материалам полиионполимерами // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы I Международной научно-технической конф. Архангельск, 2011. С. 52–56.
13. Смолин А.С., Шабиев Р.О., Мидуков Н.П., Кожевников С.Ю. Рациональные пути повышения прочности материалов на основе вторичного волокна // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы II Международной научно-технической конф. Архангельск, 2013. С. 23–26.
14. Шабиев Р.О., Гайнанова И.Г., Ковернинский И.Н., Кожевников С.Ю. Бумагообразующие свойства макулатуры МС-5Б // Новое в технологии ЦБП: сборник трудов международной научно-практической конф. СПб., 2014. С. 71–74.
15. Кулешов А.В., Смолин А.С. Влияние цикличности использования макулатурного волокна на бумагообразующие свойства // Лесной журнал. 2008. №4. С. 131–138.
16. Кожевников С.Ю., Канарский А.В. Влияние циклов переработки макулатуры на длину волокон и качество бумаги и картона // Вестник Казанского технологического университета. 2016, Т. 19, №5. С. 81–85.
17. Блинушова О.И. Эффективное использование фракций короткого и длинного волокна из макулатуры в технологии тарного картона // Гофрокартон от сырья до печати: сборник трудов Международной научно-практической конф. СПб., 2008. С. 27–30.
18. Блинушова О.И., Дулькин Д.А., Ковернинский И.Н. Влияние взаимодействия фракций массы с клеем и крахмалом на качество тест-лайнера // Современные массоподготовительные системы бумажно-картонного производства: сборник трудов Санкт-Петербургского государственного технологического университета растительных полимеров. СПб., 2009. С. 41–54.
19. Богомол Г.М. Формование бумаги и картона: теория и практика. Киев, 2008. 416 с.
20. Смолин А.С., Шабиев Р.О., Николаев Е.С. Структурообразование в гидросуспензиях растительных волокон // Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов: материалы I Международной научно-технической конф. Архангельск, 2011. С. 40–44.
21. Остапенко А.А., Кожевников С.Ю., Ковернинский И.Н. Исследование скорости обезвоживания макулатурной массы // Использование и разработка инновационных экологически безопасных технологий переработки макулатуры при производстве всего спектра бумажно-картонной продукции: материалы 15 Международной научно-технической конференции. Караваево, 2014. С. 80–83.

*Поступила в редакцию 1 октября 2018 г.*

*После переработки 15 апреля 2019 г.*

*Принята к публикации 16 апреля 2019 г.*

*Koverninsky I.N.* STUDY OF PHYSICAL-MECHANICAL PROPERTIES OF CHEMICAL-THERMOMECHANICAL MASS FROM WOOD OF THE POPLING

*Ussuriysky Industrial Park LLC, Rakovskoye, 1, Ussuriysk, 692527 (Russia),  
e-mail: kovern@list.ru*

The article provides material on the study of chemical-thermomechanical pulp (CTMM) from poplar wood, produced by the Chinese company Weifangderuibiolodgical TECHNOLOGY CO., LTD. As a result of the research, it was established that CTMP of poplar wood has the ability to be easily milled with a significant increase (by 30–80%) of physical and mechanical properties. The interval of the possible degree of grinding, in which the mass can be used with the greatest efficiency, is recommended 30–50 °SR.

CTMM in unbleached form is a high-quality primary semi-finished fibrous material that can be effectively used in combination with waste fiber for the production of corrugated paper and cardboard for flat layers of corrugated cardboard (test liner). Adding weight to the composition is appropriate in the range of 20–50%.

CTMM in bleached form is a high-quality primary fiber for the production of base paper for various sanitary purposes. Compositions with bleached cellulose, in which cellulose should be added within 15–20%, will differ in high efficiency in imparting properties to paper.

When using coniferous sapwood (pine, larch), a characteristic large-tonnage waste of Russian enterprises, an increase in the mechanical properties of the mass is expected by 20–30%. Such a mass will be a significant factor in the development of the production of containerboard, sanitary and hygienic, as well as other types of paper and cardboard.

The CTMM technology offered by the Chinese company Weifangderuibiolodgical TECHNOLOGY CO., LTD is recommended for use by Russian timber merchants. In terms of its importance, the technology is capable of solving the tasks of developing the production of pulp, paper and cardboard, provided for in the Strategy for the Development of the Forest Complex of Russia until 2030.

*Keywords:* chemical-mechanical pulp, cellulose, recycled fiber, paper for corrugating, base paper of sanitary-hygienic paper, physical and mechanical properties, capillary absorption, bulkiness.

### References

1. *Strategiya razvitiya lesnogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2030 goda: postanovleniye Pravitel'stva Ros. Federatsii. Rasporyazheniye ot 20 sentyabrya 2018 №1989-r.* [Strategy of development of the forest complex of the Russian Federation until 2030: Decree of the Government of Russia. Federation. Order of September 20, 2018 №1989-p.]. Moscow, 2018. 77 p. (in Russ.).
2. Dul'kin D.A., Spiridonov V.A., Komarov V.I. *Sovremennoye sostoyaniye i perspektivy razvitiya ispol'zovaniya vtorichnogo volokna iz makulatury v mirovoy i otechestvennoy industrii bumagi.* [The current state and prospects of development of the use of recycled fiber from waste paper in the global and domestic paper industry]. Arkhangelsk, 2007, 118 p. (in Russ.).
3. Smolin A.S., Dubovyy V.K. *Sovremennyye nauchnyye osnovy i innovatsionnyye tekhnologii bumazhno-kartonnykh materialov s ispol'zovaniyem vtorichnogo volokna iz makulatury: mataterialy 7 Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii.* [Modern scientific foundations and innovative technologies of paper-cardboard materials using recycled fiber from waste paper: materials of the 7th International Scientific and Technical Conference]. Karavaevo, 2006, pp. 6–7. (in Russ.).
4. Dul'kin D.A., Spiridonov V.A., Koverninskiy I.N., Komarov V.I. *Sovremennyye nauchnyye osnovy i innovatsionnyye tekhnologii bumazhno-kartonnykh materialov s ispol'zovaniyem vtorichnogo volokna iz makulatury: mataterialy 7 Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii.* [Modern scientific foundations and innovative technologies of paper-cardboard materials using recycled fiber from waste paper: materials of the 7th International Scientific and Technical Conference]. Karavaevo, 2006, pp. 42–46. (in Russ.).
5. Papermaking Science and Technology. Tappi Press. 2000. Vol. 8. Papermaking. Part I, Stock Preparation and Wet End. 693 p.
6. Equipment for the preparation of pulp and paper pulp. Wastewater treatment equipment. Company materials «Zibo Jepps Trading Co. Ltd». Zhangdian, Zibo, Shandong, China. 2018. 11 p.
7. Komarov V.I., Milovidova L.A., Puzyrev S.S., Chizhov G.I. *Tekhnologiya mekhanicheskoy massy iz shchepy.* [The technology of the mechanical mass of chips]. Arkhangelsk, 1991, 76 p. (in Russ.).
8. Gur'yev A.V., Dubovyy V.K., Komarov V.I., Kazakov YA.V. *Laboratornyy praktikum po tekhnologii bumagi i kartona.* [Laboratory workshop on paper and cardboard technology]. St. Petersburg, 2006, 230 p. (in Russ.).
9. *Laboratornoye oborudovaniye dlya TSBP. Katalog. OOO «PTA-Sankt-Peterburg».* [Laboratory equipment for pulp and paper industry. Catalog. LLC PTA-Saint Petersburg]. St. Petersburg, 2016, 189 p. (in Russ.).
10. Lapin V.V., Smolyakov A.M., Volkov V.A., Kudrina N.D. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2002, no. 9-10, pp. 34–37. (in Russ.).
11. Dul'kin D.A., Blinova L.A., Blinushova O.I. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2007, no. 1, pp. 85–89. (in Russ.).
12. Koverninskiy I.N., Dul'kin D.A., Kozhevnikov S.YU. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov: materialy I mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konf.* [Problems of the mechanics of pulp and paper materials: Materials I international scientific and technical conference]. Arkhangelsk, 2011, pp. 52–56. (in Russ.).
13. Smolin A.S., Shabiyev R.O., Midukov N.P., Kozhevnikov S.YU. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov: materialy II mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konf.* [Problems of the mechanics of pulp and paper materials: Materials II international scientific and technical conference]. Arkhangelsk, 2013, pp. 23–26. (in Russ.).
14. Shabiyev R.O., Gaynanova I.G., Koverninskiy I.N., Kozhevnikov S.YU. *Novoye v tekhnologii TSBP: sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konf.* [New in pulp and paper technology: a collection of works of the international scientific and practical conference]. St. Petersburg, 2014. pp. 71–74. (in Russ.).
15. Kuleshov A.V., Smolin A.S. *Lesnoy zhurnal*, 2008, no. 4, pp. 131–138. (in Russ.).

16. Kozhevnikov S.YU., Kanarskiy A.V. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2016, vol. 19, no. 5, pp. 81–85. (in Russ.).
17. Blinushova O.I. *Gofrokarton ot syr'ya do pechati: sbornik trudov mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konf.* [Corrugated cardboard from raw materials to printing: a collection of works of the international scientific and practical conference]. St. Petersburg, 2008, pp. 27–30. (in Russ.).
18. Blinushova O.I., Dul'kin D.A., Koverninskiy I.N. *Sovremennyye massopodgotovitel'nyye sistemy bumazhno-kartonnoy proizvodstva. Sbornik trudov Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta rastitel'nykh polimerov.* [Modern mass preparation systems for paper and cardboard production. The collection of works of the St. Petersburg State Technological University of Plant Polymers]. St. Petersburg, 2009, pp. 41–54. (in Russ.).
19. Bogomol G.M. *Formovaniye bumagi i kartona: teoriya i praktika.* [Paper and board molding: theory and practice]. Kiev, 2008, 416 p. (in Russ.).
20. Smolin A.S., Shabiyev R.O., Nikolayev Ye.S. *Problemy mekhaniki tsellyulozno-bumazhnykh materialov: materialy I Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konf.* [Problems of mechanics of pulp and paper materials: materials of the I International Scientific and Technical Conference]. Arkhangelsk, 2011, pp. 40–44. (in Russ.).
21. Ostapenko A.A., Kozhevnikov S.YU., Koverninskiy I.N. *Ispol'zovaniye i razrabotka innovatsionnykh ekologicheskimi bezopasnykh tekhnologiy pererabotki makulatury pri proizvodstve vsego spektra bumazhno-kartonnoy produktsii: materialy 15 mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsi.* [Use and development of innovative environmentally friendly technologies for recycling waste paper in the production of the entire range of paper and cardboard products: materials of the 15th international scientific and technical conference]. Karavaevo, 2014, pp. 80–83. (in Russ.).

*Received October 1, 2018*

*Revised April 15, 2019*

*Accepted April 16, 2019*

**For citing:** Koverninsky I.N. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2019, no. 2, pp. 305–310. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.2019024482.