

Х.М. Кхоа, М.И. Макаров, Я.В. Казаков, Е.О. Окулова

БУМАГООБРАЗУЮЩИЕ СВОЙСТВА ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ ТРОПИЧЕСКИХ ПОРОД

Введение. Современный уровень состояния промышленного потенциала развитых стран мира и дальнейший его рост во многом определяется перспективной решением проблемы сырьевого обеспечения. Для целлюлозно-бумажного производства это связано с более широким использованием недревесных растительных материалов и древесины быстрорастущих тропических пород. В последнее время в странах, испытывающих дефицит древесины и избыток растительной биомассы (тростник, бамбук, лен, конопля и т. п.), таких как Китай, Индия, США (южные штаты) и страны Латинской Америки, получили развитие технологии производства целлюлозы из травянистых растений [Григорьева и др., 2011; Нугманов и др., 2009]. В России за последнее время проведен ряд исследований, в которых рассмотрены процессы переработки различных видов недревесного сырья с целью получения целлюлозы [Арсеньева и др., 2019; Будаева и др., 2013; Дейкун и др., 2010; Гисматулина, 2016; Мертин, 2013; Вураско и др., 2018; Вшивкова и др., 2013].

Считается, что древесина некоторых тропических растений, таких как бамбук, акация, обладает большим потенциалом из-за быстрого роста, простоты выращивания, низкой стоимости и их характеристик, подходящих для деревообрабатывающей промышленности в целом и для целлюлозно-бумажной промышленности в частности.

Для Российской целлюлозно-бумажной промышленности расширение сырьевой базы возможно за счет использования экономически выгодных волокнистых полуфабрикатов из растений, произрастающих в странах Дальневосточного региона, и за счет поиска возможных путей утилизации промышленных отходов, образующихся при механической переработке древесины тропических растений [Akinlabi et al., 2017; Kobayashi et al., 2004].

Бумагообразующие свойства – это те свойства, которые в совокупности определяют достижение требуемого качества изготавливаемой бумаги. При этом имеется в виду как поведение волокнистого материала в технологических процессах изготовления из него бумаги, так и его влияние на свойства получаемой бумажной массы и готовой бумаги. Таким образом, бумагооб-

разующие свойства волокнистого материала нельзя охарактеризовать однозначно каким-либо показателем [Фляте, 1999; Дулькин и др., 2011]. Структурно-морфологические свойства исходных волокнистых материалов во многом определяют их бумагообразующие свойства и уровень механических характеристик готовой бумаги. Неоднократно доказано, что длина и ширина волокна, его гибкость и способность сохранять размеры и форму при воздействии силовых факторов технологического процесса массоподготовки имеют решающее влияние на бумагообразующие свойства.

Методика исследования. В качестве материала для получения целлюлозы выбран бамбук *Vambusa blumeana* и акация *Asacia hybrid*, местом произрастания которых является Вьетнам. *Возраст растений составляет 3–5 лет и внешний диаметр ствола 7–10 см.* Для сравнения, в тех же условиях получены и исследованы образцы целлюлозы из традиционных северных лиственных пород – смеси березы и осины в соотношении 50:50.

Для получения целлюлозы из древесины использована сульфатная варка как наиболее распространенный в мире способ делигнификации.

Варка целлюлозы проведена на автоклавной системе CAS 420 при условиях: гидромодуль 3; содержание активной щелочи в белом щелоке 100,5 г/л; расход активной щелочи на варку 17–19%; температура варки 160°C; общая продолжительность варки достигала 5 ч, включая подъем температуры в течение 90 мин. Выход целлюлозы составил 39,4% у бамбука и 56,0% у акации, число каппа – 36,5 и 46,0 соответственно. У лиственной целлюлозы число каппа составило 25,2, у хвойной – 35,1.

Микроскопические исследования проведены на исследовательском моторизованном микроскопе высокого разрешения для исследования целлюлозы и бумаги «ImagerM2m Carl Zeiss» с получением цифровых микрофотографий.

Структурно-морфологические свойства целлюлозы, такие как длина волокна, ширина, фактор формы, грубость, число изломов и другие характеристики, определены на анализаторе волокна L&W Fiber Tester [Karlsson, 2006] для образцов не подвергнутых размолу и после размолу на мельнице Йокро до степени помола 30 °ШР, для целлюлозы из акации – 20 °ШР.

Результаты и их обсуждение. Результаты определения структурно-морфологических свойств волокон представлены в таблице. Изменение исследуемых параметров в процентном соотношении представлено на гистограммах рис. 1. Величины характеристик образцов из бамбука приняты за 100%.

Из представленных данных следует, что волокна неразмолотой целлюлозы из бамбука являются более длинными (1,82 мм), чем у лиственной (1,04 мм) целлюлозы, но имеют меньшую длину, чем хвойные (2,48 мм). Волокна целлюлозы из акации являются самыми короткими (0,86 мм), обладая длиной на 10% меньше, чем лиственной (на 10%) и хвойной (на 80%).

Структурно-морфологические свойства волокон из бамбука, акации, лиственной и хвойной целлюлозы

Structural and morphological properties of bamboo, acacia, hardwood and softwood fibers

Параметр	Бамбуковая		Из акации		Лиственная		Хвойная [Ма-нахова, 2014]	
	без раз-мола	30 °ШР	без раз-мола	20 °ШР	без раз-мола	30 °ШР	без раз-мола	30 °ШР
Средняя длина во-локна, мм	1,82	1,66	0,86	0,78	1,04	0,98	2,48	2,25
Средняя ширина волокон, мкм	17,2	20,3	19,0	18,6	25,8	24,4	29,8	31,8
Средний фактор формы, %	87,5	84,2	91,6	89,3	92,5	91,7	86,0	85,7
Грубость, мг/м	82,2	85,3	55,1	76,4	100,5	80,2	79,3	75,7
Средний угол из-лома, град	60,5	58,0	46,9	51,6	46,0	50,5	58,1	56,2
Число изломов на 1 мм	0,42	0,62	0,44	0,74	0,29	0,10	0,35	0,40
Число больших из-ломов на 1 мм	0,17	0,25	0,10	0,22	0,06	0,10	0,14	0,14
Число изломов на волокно	0,59	0,80	0,34	0,54	0,27	0,31	0,66	0,66
Число больших из-ломов на волокно	0,25	0,32	0,08	0,16	0,06	0,09	0,26	0,22
Средний индекс излома	1,15	1,70	1,06	1,88	0,71	0,89	0,97	1,05
Средняя длина сегмента, мм	1,43	1,11	0,70	0,58	0,91	0,84	1,83	1,70

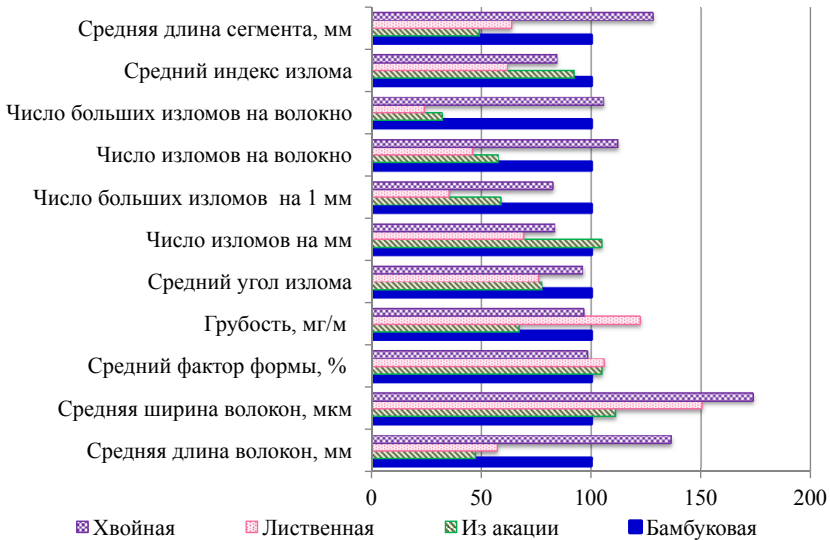


Рис. 1. Процентное соотношение структурно-морфологических свойств целлюлозы без размола

Fig. 1. The percentage of structural morphological properties of pulps without refining

Одновременно, в сравнении с лиственной (25,8 мкм) и хвойной (29,8 мкм), волокна целлюлозы из бамбука (17,2 мкм) и акации (19,0 мкм) обладают меньшей на 65–75% шириной. Как следствие, обладают большей степенью изогнутости, фактор формы у бамбука 87,5%, (у акации – 91,6, у лиственной – 92,5%), имеют больше изломов на 1 мм длины волокна 0,42, то есть на 20–30% больше, чем у хвойной и лиственной. Также надо отметить, что степень изогнутости и число изломов коррелируют с длиной волокна, у длиноволокнистых полуфабрикатов эти показатели выше.

Морфологические особенности волокон тропических пород древесины отражаются на характере изменения этих свойств при размоле. У всех полуфабрикатов при размоле уменьшается длина волокна, но в различной степени. Меньше всего сокращается длина у лиственной целлюлозы, у остальных примерно на одном уровне, но самое значительное снижение длины у акации (на 9,3%), с учетом меньшей степени помолта это говорит о большей повреждаемости волокна акации.

Фактор формы, оценивающий степень прямизны волокон, при размоле снижается у всех образцов за счет повышения гибкости и степени извитости волокон. При этом степень изменения выше у бамбука и акации, у ко-

торых толщина волокон меньше. Также размол приводит к повышению числа изломов, как на волокно, так и на 1 мм длины волокна.

Фракционный состав по длине волокна представлен на рис.2. Гистограммы соответствуют величине средней длины волокна, максимум в наиболее короткой области имеет место у целлюлозы из акации, затем у лиственной, далее бамбук и хвойная целлюлоза. Большая часть волокна целлюлозы бамбука находится в диапазоне 0,5–2,5 мм, большая часть волокна целлюлозы из акации – в диапазоне 0,2–1,5 мм. Таким образом, бамбук занимает промежуточное место между хвойной и лиственной целлюлозой, а акация – крайнее короткое.

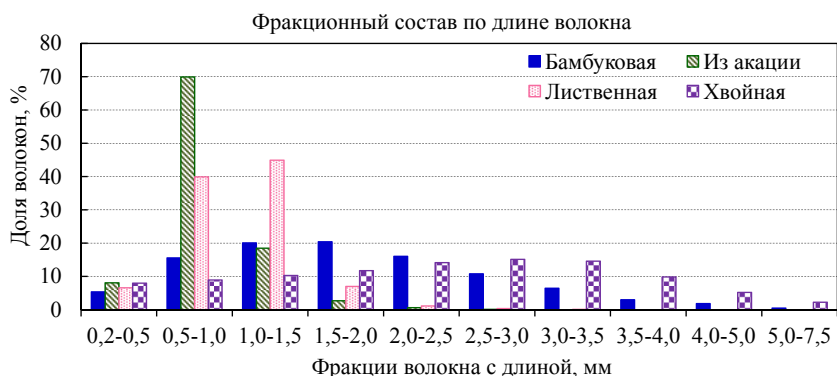


Рис. 2. Фракционный состав по длине волокна
Fig. 2. Fractional composition by fiber length of the cellulose

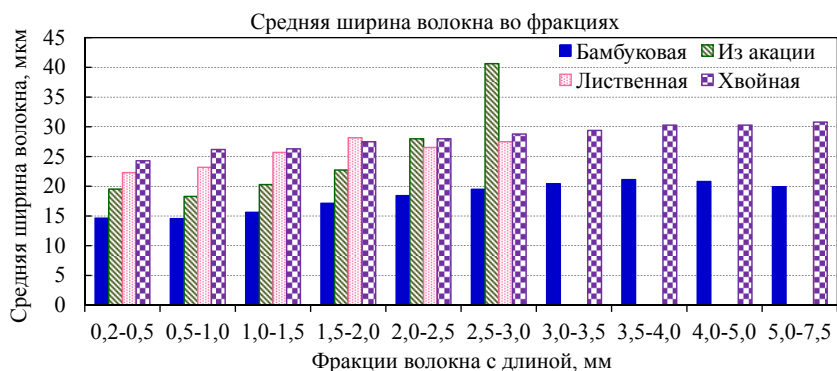


Рис. 3. Ширина волокна во фракциях по длине
Fig. 3. The width of the cellulose in fractions by length

Гистограммы изменения ширины волокна во фракциях по длине представлены на рис. 3. Для всех полуфабрикатов отмечается рост ширины волокон при увеличении их длины. Также для каждой фракции соблюдается порядок увеличения ширины волокон: бамбук-акация-лиственничная-хвойная целлюлоза.

Результаты микроскопических исследований полученных образцов целлюлозы представлены на рис. 4. Снимки получены на исследовательском микроскопе высокого «ImagerM2m Carl Zeiss», при увеличении $100\times$. Из рис.4 хорошо видны визуальные отличия в морфологии образцов тропических пород по сравнению с северными лиственными и хвойными: волокна целлюлозы из бамбука – длинные, тонкие и сильно изогнутые, с гладкой поверхностью; волокна из акации – короткие и тонкие, хорошо видны места локальных изломов и повреждений, а также сосуды – характерные элементы лиственных пород.

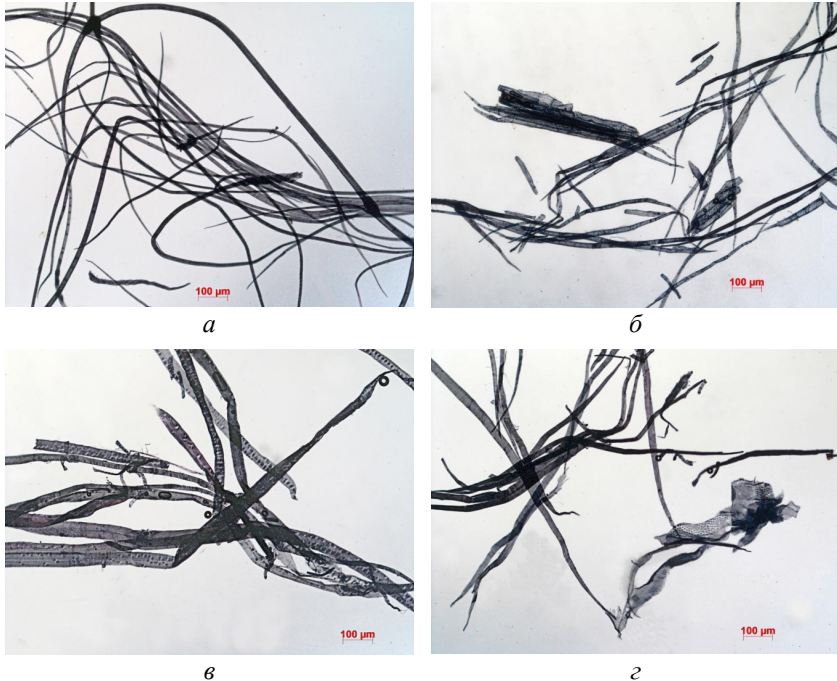


Рис. 4. Микрофотографии целлюлозных волокон, полученные при увеличении $100\times$: *a* – бамбук; *b* – акация; *в* – хвойная; *г* – лиственная
Fig. 4. Microphotographs of cellulose fibers obtained at $100\times$ magnification: *a* – bamboo; *b* – acacia; *c* – softwood pulp; *d* – hardwood pulp

Таким образом, по результатам сравнительных испытаний установлены характерные отличия в структурно-морфологических свойствах волокон тропических пород бамбука и акации, которые в значительной степени определяют уровень бумагообразующих свойств. В сравнении с лиственной, волокна целлюлозы бамбука являются более тонкими и длинными, имеют большую кривизну и повышенное число изломов. Волокна акации самые короткие, имеют ширину меньше, чем у северной лиственной, и поэтому обладают повышенной кривизной и наличием изломов.

Установленные отличия в геометрических характеристиках волокон тропических пород позволяют предположить, что их прочностные свойства не следует ожидать высокими, и, соответственно, их использование в композиции небеленых видов в больших количествах не приведет к повышению прочности и жесткости бумаги и картона. Дальнейшие исследования в этом вопросе позволят получить количественные параметры, регулирующие соотношение в композиции волокон северных и тропических пород.

Выводы

1. Установлены различия в структурно-морфологических свойствах целлюлозы из бамбука и акации, полученных сульфатным способом, от традиционных северных лиственных и хвойных. Установлено, что, по сравнению с лиственной целлюлозой, волокна бамбука более длинные (1,8 мм против 1,0 мм), с меньшей шириной (17 мкм против 26 мкм), более изогнутые (фактор формы 87,5 против 92,5) и имеют больше изломов (0,42 против 0,29). Волокна акации более короткие (0,9 мм против 1,0 мм), с меньшей шириной (19 мкм против 26 мкм), более изогнутые (фактор формы 91,6 против 92,5) и имеют больше изломов (0,44 против 0,29). По сравнению с хвойной целлюлозой волокна бамбука и акации более короткие с меньшей шириной, менее изогнутые и имеют больше изломов.

2. Использование небеленой целлюлозы из бамбука и акации в композиции небеленых видов бумаги и картона не приведет к повышению их прочности и жесткости, но может использоваться для повышения эластичности и растяжимости, что должно быть установлено в дальнейших исследованиях.

Работа выполнена на оборудовании ИТЦ «Современные технологии переработки биоресурсов Севера» (Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова) при финансовой поддержке Минобрнауки России.

Библиографический список

Григорьева Н.П., Нугманов О.К., Нусинович Д.С., Сопин В.Ф., Лебедев Н.А. Технология получения целлюлозы из травянистых растений и ее свойства // Вестник Казанского технологического университета. 2011. Вып. 3. С. 165–168.

Нугманов О.К., Григорьева Н.П., Лебедев Н.А. Способы и технология получения травяной целлюлозы // Эфиры целлюлозы и крахмала. Опыт и особенности применения на предприятиях нефтегазового комплекса: матер. XIII Междунар. науч.-практ. конф., 2009. С. 79–83.

Арсеньева Д.Ю., Казаков Я.В., Окулова Е.О. Особенности получения целлюлозы из костры льна методом пероксидно-ацетатной варки // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2019. Вып. 226. С. 185–196.

Будаева В.В., Гисматулина Ю.А., Золотухин В.Н., Роговой М.С., Мельников А.В. Физико-химические свойства целлюлозы из соломы льна-межеумка // Ползуновский вестник. 2013. Вып. 3. С. 168–173.

Дейкун И.М., Пойда В.В., Барбаиш В.А. Получение целлюлозы из соломы рапса окислительно-органосольвентным способом делигнификации // Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2010. Вып. 2. С.148.

Гисматулина Ю.А. Химический состав перспективного недревесного сырья – мискантуса и соломы льна-межеумка // Фундаментальные исследования. 2016. Вып. 4 (ч. 2). С. 249–252.

Каретникова Н.В., Чендылова Л.В., Пен Р.З., Делигнификация льняной костры // Химия растительного сырья. 2018. Вып. 1. С. 44–51.

Мертин Э.В. Получение целлюлозы щелочно-окислительно-органосольвентным способом с применением озона: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2013. 153 с.

Вураско А.В., Симонова Е.И., Минакова А.Р. Изучение закономерностей влияния щелочной обработки на свойства органосольвентной целлюлозы из соломы риса // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2018. Вып. 223. С. 228–248.

Вишкова И.А., Пен Р.З., Каретникова Н.В. Свойства пероксидной целлюлозы из однолетних растений. Размерные характеристики волокон из пшеничной соломы // Химия растительного сырья. 2013. Вып. 2. С. 37–41.

Фляте Д.М. Свойства бумаги. Изд. 4-е, испр. и доп. СПб.: НПО «Мир и семья-95», ООО «Интерлайн», 1999. 384 с.

Дулькин Д.А., Спиридонов В.А., Камаров В.И., Блинова Л.А. Свойства целлюлозных волокон и их влияние на физико-механические характеристики бумаги и картона / под ред. В.И. Камарова. Архангельск: Северный (Арктический) федеральный университет, 2011. 176 с.

Akinlabi E.T., Kwame A.-Fenin, Damenortey R.A. Bamboo The Multipurpose Plant. Springer International Publishing AG, 2017. 268 p.

Kobayashi F., Take H., Asada Ch., Nakamura Y. Methane production from steam-exploded bamboo. *Journal of Biosci. and Bioengineering*, 2004. Vol. 97, no. 6, pp. 426–428.

Манахова Т.Н. Влияние структурно-морфологических свойств волокна на деформативность и прочность хвойной сульфатной небеленой целлюлозы: дис. ... канд. техн. наук. Архангельск, 2014. 170 с.

Манахова Т.Н., Казаков Я.В. Расчет параметров феноменологической модели деформирования целлюлозного материала по результатам измерений на автоматическом анализаторе волокна // *Лесной журнал*. 2014. Вып. 1. С. 140–147.

Казаков Я.В., Манахова Т.Н. Бумагообразующий потенциал хвойной небеленой целлюлозы: современный взгляд через автоматический анализатор волокон // *Целлюлоза. Бумага. Картон*, 2013. Вып. 5. С. 34–39.

Кларк Дж. Технология целлюлозы (Наука о целлюлозной массе и бумаге, подготовка массы, переработка её в бумагу, методы испытаний) // Пер. с англ. А.В. Оболенской, Г.А. Пазухиной. – М.: Лесн. пром-сть, 1983. 456 с.

Karlsson, Hakan. Fiber Guide. Fiber analysis and process applications in the pulp and paper industry // *AB Lorentzen & Werrte*. 2006. 120 p.

References

Grigor'yeva N.P., Nugmanov O.K., Nusinovich D.S., Sopin V.F., Lebedev N.A. Tekhnologiya polucheniya tsellyulozy iz travyanistykh rasteniy i yeye svoystva. *Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta*, 2011, is. 3, pp. 165–168. (In Russ.)

Nugmanov O.K., Grigor'yeva N.P., Lebedev N.A. Sposoby i tekhnologiya polucheniya travyanoy tsellyulozy. *Efiry tsellyulozy i krakhmala. Opyt i osobennosti primeneniya na predpriyatiyakh neftegazovogo kompleksa: mater. XIII Mezhdunar. nauch.-prakt. konf.*, 2009, pp. 79–83. (In Russ.)

Arsen'yeva D.Yu., Kazakov Ya.V., Okulova Ye.O. Osobennosti polucheniya tsellyulozy iz kostry l'na metodom peroksidno-atsetatnoy varki. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy Lesotekhnicheskoy Akademii*, 2019, is. 226, pp. 185–196. (In Russ.)

Budayeva V.V., Gismatulina Yu.A., Zolotukhin V.N., Rogovoy M.S., Mel'nikov A.V. Fiziko-khimicheskiye svoystva tsellyulozy iz solomy l'na-mezheumka. *Polzunovskiy vestnik*, 2013, is. 3, pp. 168–173. (In Russ.)

Deykun I.M., Poyda V.V., Barbash V.A. Polucheniye tsellyulozy iz solomy rapsa oksislitel'no-organosol'ventnym sposobom delignifikatsii. *Navukovivisti NTUU «KPI»*, 2010, is. 2. (In Russ.)

Gismatulina YU.A. Khimicheskiy sostav perspektivnogo nedrevesnogo syr'ya – miskantusa i solomy l'na mezheumka. *Fundamental'nyye issledovaniya*, 2016, is. (ch. 2), pp. 249–252. (In Russ.)

Karetnikova N.V., Chendylova L.V., Pen R.Z., Delignifikatsiya l'nyanoy kostry. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2018, is. 1, pp. 44–51. (In Russ.)

Mertin E.V. Polucheniye tsellyulozy shchelochno-okislitel'no organosol'ventnym sposobom s primeneniye ozona: dis. ... kand. tekhn. nauk. Yekaterinburg, 2013. 153 p. (In Russ.)

Vurasko A.V., Simonova Ye.I., Minakova A.R. Izucheniye zakonomernostey vliyaniya shchelochnoy obrabotki na svoystva organosol'ventnoy tsellyulozy iz solomy risa. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii*, 2018, is. 223, pp. 228–248. (In Russ.)

Vshivkova I.A., Pen R.Z., Karetnikova N.V. Svoystva peroksidnoy tsellyulozy iz odnoletnikh rasteniy. Razmernyye kharakteristiki volokon iz pshenichnoy solomy. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2013, is. 2, pp. 37–41. (In Russ.)

Flyate D.M. Svoystva bumagi. Izd. 4-ye, ispr. i dop. SPb.: NPO «Mir i sem'ya-95», OOO «Interlayn», 1999. 384 p. (In Russ.)

Dul'kin D.A., Spiridonov V.A., Kamarov V.I., Blinova L.A. Svoystva tsellyuloznykh volokon i ikh vliyaniye na fiziko-mekhanicheskiye kharakteristiki bumagi i kartona; pod red. V.I. Kamarova. Arkhangel'sk: Severnyy (Arkticheskiy) federal'nyy universitet, 2011. 176 p. (In Russ.)

Akinlabi E.T., Kwame A.-Fenin, Damenortey R.A. Bamboo The Multipurpose Plant. Springer International Publishing AG, 2017. 268 p.

Kobayashi F., Take H., Asada Ch., Nakamura Y. Methane production from steam-exploded bamboo. *J. of Biosci. and Bioengineering*, 2004, vol. 97, no. 6, pp. 426–428.

Manakhova T.N. Vliyaniye strukturno-morfologicheskikh svoystv volokna na deformativnost' i prochnost' khvoynoy sul'fatnoy nebelenoy tsellyulozy: dis. ... kand. tekhn. nauk, 2014. 170 p. (In Russ.)

Manakhova T.N., Kazakov Ya.V. Raschet parametrov fenomenologicheskoy modeli deformirovaniya tsellyuloznogo materiala po rezul'tatam izmereniy na avtomaticheskoy analizatore volokna. *Lesn. zhurn.*, 2014, is. 1, pp. 140–147. (In Russ.)

Kazakov Ya.V., Manakhova T.N. Bumagoobrazuyushchiy potentsial khvoynoy nebelenoy tsellyulozy: sovremennyy vzglyad cherez avtomaticheskoy analizator volokna. *Tsellyuloza. Bumaga. Karton*, 2013, is. 5, pp. 34–39. (In Russ.)

Klark Dzh. Tekhnologiya tsellyulozy (Nauka o tsellyuloznoy masse i bumage, podgotovka massy, pererabotka yeyo v bumagu, metody ispytaniy). Per. S angl. A.V. Obolenskoy, G.A. Pazukhinoy. M.: Lesn. prom-st', 1983. 456 p. (In Russ.)

Karlsson, Hakan. Fiber Guide. Fiber analysis and process applications in the pulp and paper industry. *AB Lorentzen&Werre*, 2006. 120 p.

Материал поступил в редакцию 06.02.2020

Кхоа Х.М., Макаров М.И., Казаков Я.В., Окулова Е.О.
Бумагообразующие свойства целлюлозы из древесины тропических пород // Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии. 2020. Вып. 231. С. 196–208. DOI: 10.21266/2079-4304.2020.231.196-208

В работе рассмотрены структурно-морфологические и бумагообразующие свойства целлюлозы, полученной сульфатным способом из древесины тропических пород – *Bambusa blumeana* и акация *Acacia hybrid*, местом произрастания которых является Вьетнам. *Выполнено сравнение со свойствами целлюлозы из древесины традиционных северных лиственных (смесь березы и осины 50:50) и хвойных пород.* Структурно-морфологические свойства определены на автоматическом анализаторе волокна L&W Fiber Tester. Цифровые микрофотографии получены на микроскопе «ImagerM2m Carl Zeiss». Исследованы образцы до и после размола на мельнице Йокро до степени помола 30 °ШР, для целлюлозы из акации – 20 °ШР. Установлено, что, по сравнению с лиственной целлюлозой, волокна бамбука более длинные (1,8 мм против 1,0 мм), с меньшей шириной (17 мкм против 26 мкм), более изогнутые (фактор формы 87,5 против 92,5) и имеют больше изломов (0,42 против 0,29). Волокна акации более короткие (0,9 мм против 1,0 мм), с меньшей шириной (19 мкм против 26 мкм), более изогнутые (фактор формы 91,6 против 92,5) и имеют больше изломов (0,44 против 0,29). По сравнению с хвойной целлюлозой волокна бамбука и акации более короткие с меньшей шириной, менее изогнутые и имеют больше изломов. Использование небеленой целлюлозы из бамбука и акации в композиции небеленых видов бумаги и картона не приведет к повышению их прочности и жесткости, но может использоваться для повышения эластичности и растяжимости, что должно быть установлено в дальнейших исследованиях.

Ключевые слова: целлюлоза из бамбука, целлюлоза из акации, бумагообразующие свойства, длина волокна, ширина волокна, фракционный состав.

Khoa H.M., Makarov M.I., Kazakov Ya.V., Okulova E.O. Papermaking properties of tropical wood pulp. *Izvestia Sankt-Peterburgskoj Lesotehniceskoy Akademii*, 2020, is. 231, pp. 196–208 (in Russian with English summary). DOI: 10.21266/2079-4304.2020.231.196-208

The paper considers the structural-morphological and papermaking properties of kraft pulp from tropical woods – *Bambusa blumeana* and *Acacia hybrid*, the place of growth of which is Vietnam. A comparison with the properties of traditional northern hardwood pulp (a mixture of birch and aspen 50:50) and softwood pulp was made. Structural and morphological properties are determined on an automatic fiber

analyzer L&W Fiber Tester. Digital micrographs were taken with an ImagerM2m Carl Zeiss microscope. Samples were studied before and after refining at the Yokro mill to 30° SR, for acacia pulp – 20°SR. It was found that, compared with hardwood pulp, bamboo fibers are longer (1.8 mm vs 1.0 mm), with a smaller width (17 µm vs 26 µm), more curved (shape factor 87.5 vs 92.5) and have more kinks (0.42 versus 0.29). Acacia fibers are shorter (0.9 mm vs 1.0 mm), with a smaller width (19 µm vs 26 µm), more curved (shape factor 91.6 vs 92.5) and have more kinks (0.44 vs 0.29). Compared to softwood pulp, bamboo and acacia fibers are shorter with a smaller width, less curved and have more kinks. The use of unbleached pulp from bamboo and acacia in the furnish of unbleached types of paper and cardboard will not lead to an increase in their strength and stiffness, but can be used to increase elasticity and extensibility, which should be established in further studies.

Key words: bamboo cellulose, acacia cellulose, papermaking properties, fiber length, fiber width, fractional composition

КХОА Хоанг Минь – аспирант Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: hoangminhkhoea.vfu@gmail.com

КНОА Hoang M. – PhD student, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov.

163002. Severnaya Dvina Emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: hoangminhkhoea.vfu@gmail.com

МАКАРОВ Максим Игоревич – магистрант Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.

163002, наб. Серверной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: makarov-17-1997@yandex.ru

MAKAROV Maxim I. – Master student, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov.

163002. Severnaya Dvina Emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: makarov-17-1997@yandex.ru

КАЗАКОВ Яков Владимирович – заведующий кафедрой целлюлозно-бумажных и лесохимических производств Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова, доктор технических наук, профессор

163002, наб. Северной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: j.kazakov@narfu.ru

KAZAKOV Yakov V. – DSc (Technical), Professor, Head of the Department of Pulp and Paper and Wood Chemical Production, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov.

163002. Severnaya Dvina Emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: j.kazakov@narfu.ru

ОКУЛОВА Елена Олеговна – аспирант Северного (Арктического) федерального университета имени М.В. Ломоносова.

163002, наб. Серверной Двины, д. 17, г. Архангельск, Россия. E-mail: e.okulova@narfu.ru

OKULOVA Elena O. – PhD student, Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov.

163002. Severnaya Dvina Emb. 17. Arkhangelsk. Russia. E-mail: e.okulova@narfu.ru