

УДК 676.16.022.6.034

## ПОЛУЧЕНИЕ И СВОЙСТВА ТЕХНИЧЕСКОЙ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ БОРЩЕВИКА ОКИСЛИТЕЛЬНО-ОРГАНОСОЛЬВЕНТНЫМ СПОСОБОМ

© *А.В. Вураско\**, *М.А. Агеев*, *В.П. Сиваков*

*Уральский государственный лесотехнический университет, Сибирский тракт, 37, Екатеринбург, 620100 (Россия), e-mail: vurasko2010@yandex.ru*

Борщевик быстро размножается и набирает большой объем фитомассы за вегетационный период, что позволяет рассматривать зрелую биомассу борщевика как сырье для получения целлюлозы. Целью работы является получение целлюлозы из одревесневших стеблей борщевика окислительно-органосольвентным способом и изучение ее свойств. В ходе работы установлено, что сырье, заготовленное в августе, содержит меньше лигнина, больше целлюлозы и минеральных веществ по сравнению с сырьем, заготовленным в сентябре. Компонентный состав сырья: массовая доля лигнина – 21.9%, целлюлозы – 46.4% от абсолютно сухого сырья. Окислительно-органосольвентной варкой с предварительной щелочной обработкой в зависимости от условий получена целлюлоза с выходом 49.5–49.7% от абсолютно-сухого сырья, массовой долей лигнина 3.9–4.3% от массы абсолютно-сухой целлюлозы, белизной 72.0–80.2%. Лучшими показателями по физико-механическим свойствам обладает целлюлоза, полученная при расходе рПУК 0.8 г/г и с продолжительностью щелочной обработки 90 мин. Из борщевика можно получать целлюлозу, сопоставимую по характеристикам с ГОСТ 28172-89 марки ЛС-4. Анатомические элементы целлюлозы содержат лубяные волокна, паренхимные клетки и сосуды. Средняя длина волокна составляет 0.70 мм, а средняя ширина волокна – 20.4 мкм. По фракционному составу и размерам волокон полученную целлюлозу следует отнести к коротковолокнистым полуфабрикатам.

*Ключевые слова:* борщевик, целлюлоза, лигнин, окислительно-органосольвентная варка, делигнификация, структурно-морфологические свойства волокон.

*Исследование выполнено при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках научного проекта «FEUG-2020-0013».*

### Введение

Решение проблем экологии является важной задачей Российской Федерации [1]. Техногенное влияние на окружающую среду становится все заметнее: загрязнение водных ресурсов и воздуха промышленными производствами [2]; вырубка лесов без их эффективного восстановления приводит к дефициту качественной древесины; зарастание сорными растениями, такими как борщевик, значительных территорий – все это разрушает биоценозы местной растительности [3].

Род Борщевик, или *Heracleum* L. (семейство Сельдерейные, или Зонтичные) во флоре бывшего СССР насчитывает 34 вида. Во флоре России на данный период времени насчитывают более 15 видов [4, 5]. В связи с внедрением в сельскохозяйственную и животноводческую практику в 1940 г. этот вид растений бесконтрольно модифицировался и адаптировался к различным климатическим условиям. Это расте-

ние является инвазионным [6], и к настоящему моменту разработаны меры борьбы с ним на федеральном уровне. Борщевик Сосновского произрастает как сорное растение на значительной части территории европейской части России, а также на Урале. Наряду с отрицательными свойствами борщевика – неконтролируемое распространение, наличие ядовитых веществ (кумаринов и фурукумаринов) и так далее, нужно отметить и положительные свойства – неприхотливость, легкость раз-

---

*Вураско Алеся Валерьевна* – доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров, e-mail: vurasko2010@yandex.ru

*Агеев Максим Аркадьевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий целлюлозно-бумажных производств и переработки полимеров, e-mail: m-ageev@yandex.ru

*Сиваков Валерий Павлович* – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологических машин и технологии машиностроения, e-mail: sivakovvp@m.usfeu.ru

---

\* Автор, с которым следует вести переписку.

множения, набор большого объема биомассы за вегетативный период и лигнификация ветвей и стеблей, развитая сырьевая база – все это может обеспечить многие потребности промышленности и заменить другие виды сырья [5]. Согласно литературным данным из борщевика можно получать: сахара [7], биоэтанол [8–10], древесные пластики [11, 12], топливные пеллеты [13, 14], биологически активные соединения, эфирные масла [15–19], 2D наноклерод [20, 21] и целлюлозу [22, 23]. Многие положительные свойства позволяют рассматривать зрелую биомассу борщевика как возможное сырье для получения технической целлюлозы (ТЦ). Однако исследования по получению ТЦ из борщевика ограничились только натронными варками [22]. Интерес представляют экологически малоопасные и мягкие способы делигнификации, например, окислительно-органо-сольвентный способ варки (ООСВ).

В связи с этим целью работы является получение ТЦ из одревесневших стеблей борщевика окислительно-органо-сольвентным способом и изучение ее свойств.

Для достижения цели необходимо решить следующие задачи: провести сравнительный анализ компонентного состава исходного сырья в виде одревесневших стеблей борщевика с разницей во времени сбора; провести ООСВ варки растительного сырья с предварительной щелочной обработкой и выбором наилучших режимов для получения ТЦ удовлетворительного качества; определить качественные характеристики ТЦ: компонентный состав, физические и механические характеристики, изучить анатомические и структурно-морфологические характеристики полученной ТЦ.

### Экспериментальная часть

В качестве объекта исследования использовали одревесневшие надземные однолетние стебли борщевика и примыкающие к ним «побеги обогащения» (рис. 1 (I)) [24].

Стебли собирали в окрестностях г. Березовского Свердловской области в конце августа и сентября 2020 года. В стебле находятся проводящие пучки: периферические до 50 штук и центральные до 59 штук. Пучки состоят из ксилемы, камбия и флоэмы (рис. 1 (II)) [24]. Сырье измельчали, сортировали на ситах с размером отверстий от 2 до 10 мм и промывали.

Компонентный состав сырья и ТЦ определяли по методикам: влажность ГОСТ 16932; зольность (ГОСТ 18461); массовая доля экстрактивных веществ, растворимых в органических растворителях (хлористый этилен) (ГОСТ 6841); массовая доля лигнина (ГОСТ 11960); массовая доля веществ, растворимых в горячей воде [25]; массовая доля целлюлозы (по Кюршнеру-Хофферу) [25].

Определение рН водной вытяжки. В коническую колбу объемом 250 мл помещали 5 г абсолютно сухого сырья (а.с.с.), заливали 150 мл дистиллированной воды. При горячем экстрагировании экстракцию проводили при кипячении в течение 60 мин. Холодное экстрагирование проводили при температуре 25 °С в течение 24 ч при перемешивании.

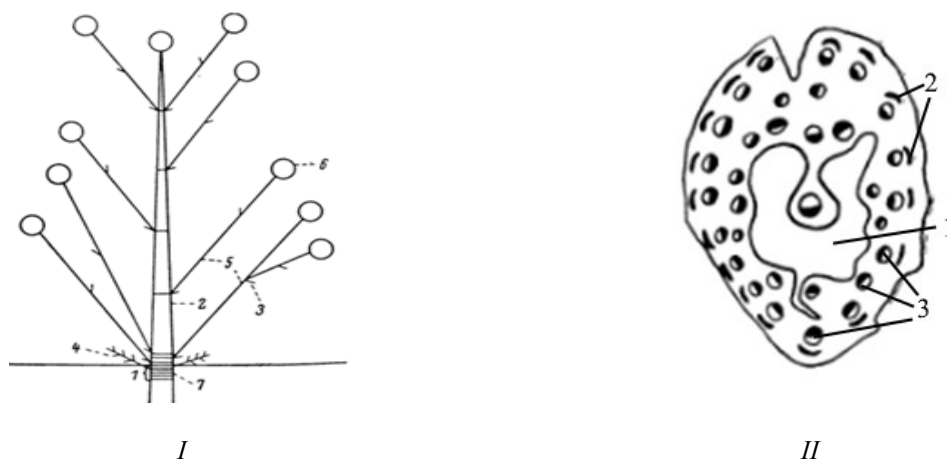


Рис. 1. Строение побега борщевика Сосновского: I – строение побега борщевика Сосновского (схема): 1 – подземная многолетняя часть; 2 – стебель надземной однолетней части; 3 – листья; 4 – побег обрастания; 5 – побег обогащения; 6 – сложный зонтик; 7 – годовичные листовые рубцы; II – стебель в разрезе: 1 – полость в виде желоба; 2 – периферийные проводящие пучки; 3 – центральные проводящие пучки

Анализ ТЦ: белизна – ГОСТ 7690; размол ТЦ и изготовление отливок проводили в соответствии с ГОСТ 14363.4; определение разрывной длины ГОСТ 13525.1; определение сопротивления раздиранию ГОСТ 13525.3; определение капиллярной впитываемости метод Клемма ГОСТ 12602; микроскопические исследования проведены на исследовательском моторизированном микроскопе высокого разрешения «ImagerZ2m Carl Zeiss»; электронную микроскопию проводили на электронном микроскопе TESCAN VEGA 3 XM. Образцы ТЦ высушивали при температуре 60 °С в течение 10 мин и напыляли углеродом под глубоким вакуумом. Структурно-морфологические характеристики волокон ТЦ получены на анализаторе Fiber Tester фирмы Lorentzen & Wettre (Швеция).

Щелочную обработку и ООСВ проводили в лабораторной реакторной системе LR-2.ST. Условия щелочной обработки: масса стеблей борщевика – 80 г а.с.с., концентрация раствора NaOH – 40 г/л, подъем температуры – до 90 °С – 30 мин; обработка – 60–120 мин; жидкостный модуль – 10 : 1. По окончании обработки щелочной раствор сливали.

ООСВ проводили раствором, состоящим из варочной композиции равновесной пероксиуксусной кислотой (рПУК), воды и стабилизатора пероксидных соединений (органофосфонат – ИОМС). Приготовление и анализ рПУК проводили по методикам, изложенным в [26]. Расход рПУК составлял 0.4–0.8 г/г в расчете на а.с.с., взятое на щелочную обработку. Жидкостный модуль – 10 : 1. Подъем температуры – до 90 °С 20 мин, варка – 60 мин.

### **Обсуждение результатов**

Компонентный состав стеблей борщевика в сравнении с недревесным [26] и древесным [27] сырьем представлен в таблице 1.

Как следует из таблицы 1, сырье в виде стеблей борщевика, заготовленное в августе, содержит меньше лигнина, больше целлюлозы и минеральных веществ по сравнению с сырьем, заготовленным в сентябре. Разницу в композиционном составе можно объяснить частичной деструкцией и растворением углеводов под действием ультрафиолетового света и осадков. Лигнин и липиды при этих условиях разрушаются незначительно, что приводит к изменению соотношения между углеводной и ароматической частями.

При сравнении биомассы стеблей борщевика с древесиной березы и осины можно отметить, что содержание лигнина для этих видов сырья находится в сопоставимых количествах, а целлюлозы в борщевике несколько больше. Основным отличием по компонентному составу от древесины является содержание минеральных веществ (в борщевике больше в 13.5–25 раз) и экстрактивных веществ, растворимых в горячей воде (в борщевике больше примерно в 7 раз).

При сравнении сырья из борщевика с соломой риса и овса видно, что лигнина в борщевике больше, а содержание целлюлозы почти одинаково. Массовая доля минеральных веществ сопоставима с прочими видами недревесного сырья, за исключением соломы риса [26].

В связи с тем, что в состав борщевика входят водорастворимые экстрактивные вещества кислого характера [15, 16], интерес представляют результаты определения рН водной вытяжки лигнифицированных стеблей борщевика. Установлено, что при равном (в пределах погрешности) количествах экстрактивных веществ, растворимых в горячей воде, в сырье, собранном в августе и сентябре, рН водной вытяжки сырья, собранного в сентябре, более кислый при любом способе экстрагирования. Для дальнейших исследований использовали сырье, собранное в августе.

Таким образом, по компонентному составу стебли борщевика вполне пригодны для получения ТЦ. Массовая доля целлюлозы в сырье позволяет предположить, что при эффективном и щадящем способе делигнификации возможно получение ТЦ с максимальным сохранением холоцеллюлозы.

Первая серия варок – изучение влияния расхода рПУК на показатели ТЦ. Полученную ТЦ размалывали и изготавливали отливки ( $75 \pm 2$  г/м<sup>2</sup>). Полученные данные приведены в таблице 2.

Варка с расходом рПУК 0.4% от а.с.с. (табл. 2) приводит к получению непровара 14.0% от а.с.с. Сортированная ТЦ содержит высокий процент лигнина 20.9% от а.с.с. При увеличении расхода рПУК с 0.6 до 0.8 выход сортированной целлюлозы остается в пределах погрешности, массовая доля лигнина снижается в два раза, а белизна увеличивается на 18.6%, что свидетельствует о высокой делигнифицирующей избирательности варочного раствора. При расходе рПУК 0.6 г/г а.с.с. и выше отмечена самостоятельная сепарация волокон, что способствует лучшей фибрилляции волокон при размоле.

Таблица 1. Компонентный состав растительного сырья

Компонентный состав	Месяц сбора борщевика		Древесина		Солома	
	август	сентябрь	береза	осина	риса	овса
Лигнин, % а.с.с.	21.9±0.2	25.4±0.2	19.6	21.8	14.6	18.0
Массовая доля целлюлозы по Кюршнеру-Хофферу, % а.с.с.	46.4±1.0	45.0±1.0	43.8	41.8	45.6	47.0
Содержание минеральных веществ	7.6±0.1	5.4±0.1	0.4	0.3	17.2	3.0
Экстрактивные вещества, % а.с.с.:						
– растворимые в органических растворителях (этиловый эфир)	1.3±0.5	1.8±0.5	2.9	0.8	6.0	3.5
– растворимые в горячей воде	18.0±0.5	17.7±0.5	2.6	2.8	12.7	2.4
pH водной вытяжки:						
– холодного экстрагирования	6.7±0.1	6.5±0.1	...	...	...	...
– горячего экстрагирования	6.6±0.1	6.2±0.1	...	...	...	...

Таблица 2. Результаты анализа ТЦ после щелочной обработки продолжительностью 120 мин и ООСВ

Показатель	Значение		
Расход рПУК, г/г от а.с.с.	0.4	0.6	0.8
Выход сортированной ТЦ, % от а.с.с.	59.0±0.5	49.6±0.5	49.7±0.5
Непровар, % от а.с.с.	14.0±0.5	2.1±0.5	–
Массовая доля лигнина, % от абсолютно сухой целлюлозы (а.с.с.)	20.9±0.2	8.5±0.2	3.9±0.2
Белизна, %	40.0±0.2	53.4±0.2	72.0±0.2
Степень помола, °ШР	58±2.0	56±2.0	64±2.0
Сопротивление раздиранию, сН	65.0±1.0	72.5±1.0	60.0±1.0
Разрывная длина, км	3.5±0.5	5.4±0.5	8.4±0.5
Капиллярная впитываемость, мм	2.1±0.3	1.0±0.3	0.8±0.3

С увеличением расхода рПУК увеличивается разрывная длина, что обусловлено фибрилляцией и разработанностью волокон за счет повышения эластичности делигнифицированных стенок. Это позволяет даже при коротком волокне получить высокую разрывную длину. Лучший показатель сопротивления раздиранию достигается при расходе рПУК 0.6 г/г. При увеличении расхода рПУК волокна плотнее укладываются в листе, при этом короткие волокна, расположенные поперек направления раздиранию, вытаскиваются из листа в месте разрыва. За счет более плотной укладки волокон в листе при увеличении расхода рПУК снижается и капиллярная впитываемость образцов. Так как волокна обладают более развитой удельной поверхностью, в процессе сушки в отливке развиваются значительные усадочные напряжения, стягивающие волокна между собой. Это приводит к образованию более плотной капиллярно-пористой структуры, что и затрудняет проникновение жидкости в межволоконное пространство. В первой серии варок наилучшие характеристики получены при расходе рПУК 0.8 г/г. Увеличение расхода рПУК более 0.8 г/г является экономически нецелесообразным.

Вторая серия варок – изучение влияния продолжительности щелочной обработки на качество ТЦ. Полученную ТЦ размалывали и изготавливали отливки ( $75 \pm 2$  г/м<sup>2</sup>). Результаты приведены в таблице 3.

Из таблицы 3 следует, что увеличение продолжительности щелочной обработки приводит к снижению непровара и массовой доли лигнина. ТЦ при продолжительности щелочной обработки 90 и 120 мин имеет равный (в пределах погрешности) выход и близкие показатели массовой доли лигнина 4.3 и 3.9% соответственно. Щелочная обработка приводит к набуханию волокон, снижению количества водорастворимых веществ, в том числе и кислого характера, способствует увеличению удельной поверхности волокон и, как следствие – увеличению разрывной длины. Увеличение продолжительности с 90 до 120 мин снижает показатели белизны и сопротивления раздиранию. Как и в первой серии варок, с увеличением продолжительности обработки снижается капиллярная впитываемость.

Для оценки возможности практического использования полученной ТЦ из борщевика приведем сравнительную характеристику с требованиями к целлюлозе сульфатной марки ЛС-4 ГОСТ 28172-89 (ТЦ/ЛС-4): белизна 80.2% / не менее 80%; сопротивление раздиранию 75.0 сН / не менее 35 сН; разрывная длина 5.90 км / не менее 6.0 км. Видно, что показатели белизны и разрывной длины ТЦ из борщевика аналогичны показателям сульфатной целлюлозы марки ЛС-4, а показатель сопротивления раздиранию более чем в два раза превышает данный показатель целлюлозы ЛС-4.

Микроскопическое исследование анатомических элементов проведено на образце ТЦ, полученной ООСВ при продолжительности щелочной обработки 90 мин и расходе рПУК 0.8 г/г. Результаты представлены на рисунке 2.

ТЦ из борщевика содержит хорошо делигнифицированные тонкие и длинные лубяные волокна с заостренными концами, паренхимные клетки и незначительное количество сосудов различных форм (рис. 2). ООСВ позволяет сохранить легкоразрушаемые паренхимные клетки, спиралевидные и сетчатые сосуды.

Результаты электронно-микроскопических исследований структуры поверхности волокон ТЦ представлены на рисунке 3.

Таблица 3. Результаты анализа технической целлюлозы после щелочной обработки и ООСВ с расходом рПУК 0.8 г/г от а.с.с.

Показатель	Значение		
	60	90	120
Продолжительность щелочной обработки, мин	60	90	120
Выход сортированной ТЦ, % от а.с.с.	45.4±0.5	49.5±0.5	49.7±0.5
Непровар, % от а.с.с.	4.0±0.5	–	–
Массовая доля лигнина, % от а.с.с.	6.4±0.2	4.3±0.2	3.9±0.2
Белизна, %	70.5±0.2	80.2±0.2	72.0±0.2
Степень помола, °ШР	56±2.0	57±2.0	64±2.0
Сопротивление раздиранию, сН	67.5±1.0	75.0±1.0	50.0±1.0
Разрывная длина, км	6.15±0.5	5.90±0.5	8.40±0.5
Капиллярная впитываемость, мм	2.1±0.3	1.3±0.3	0.8±0.3

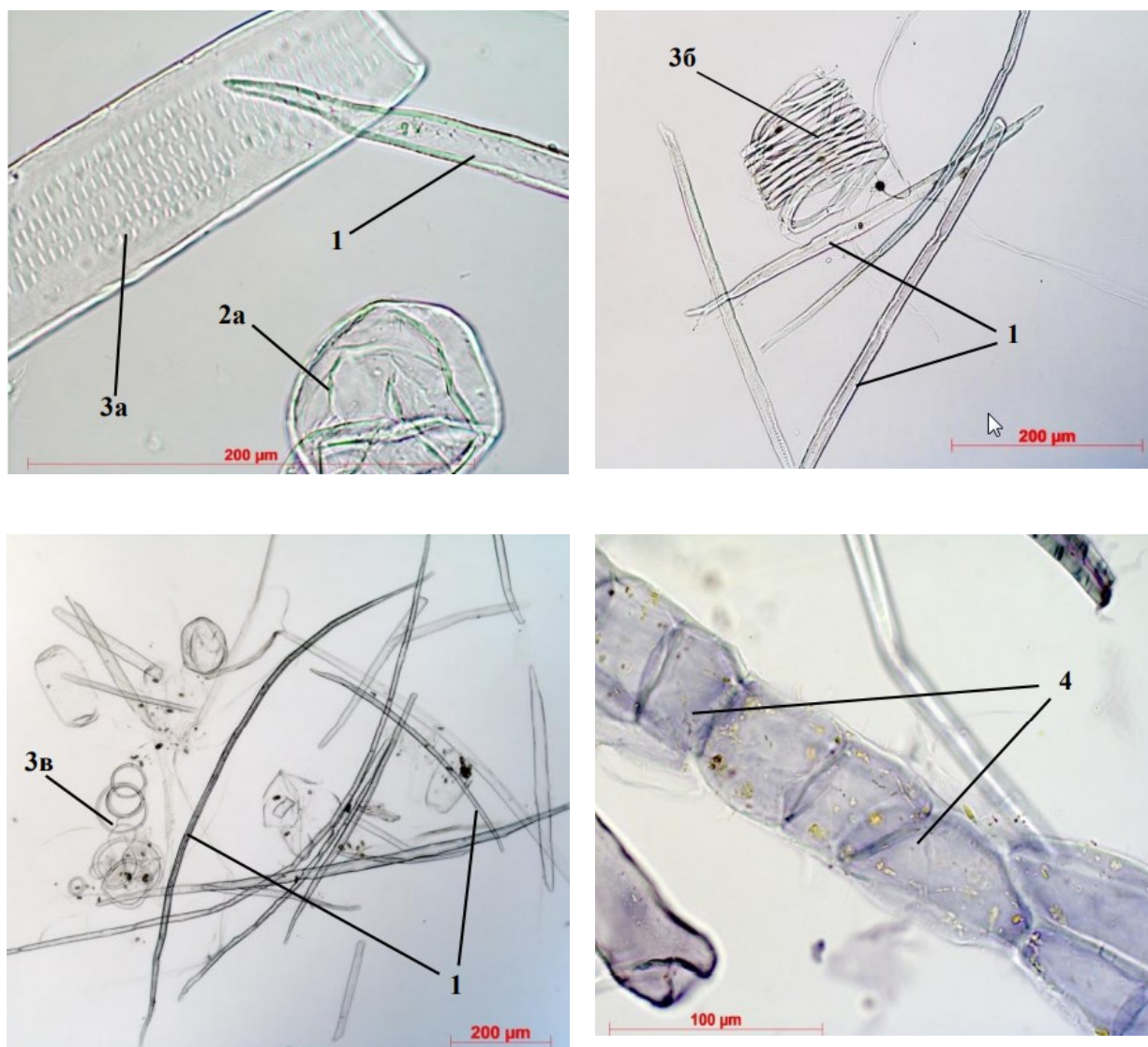


Рис. 2. Анатомические элементы ТЦ из борщевика: 1 – лубяные волокна; 2 – паренхимные клетки: а) бочковидные; б) длинные; 3 – сосуды: а) пористые; б) спиральные; в) кольчатые; 4 – эпидермальные клетки

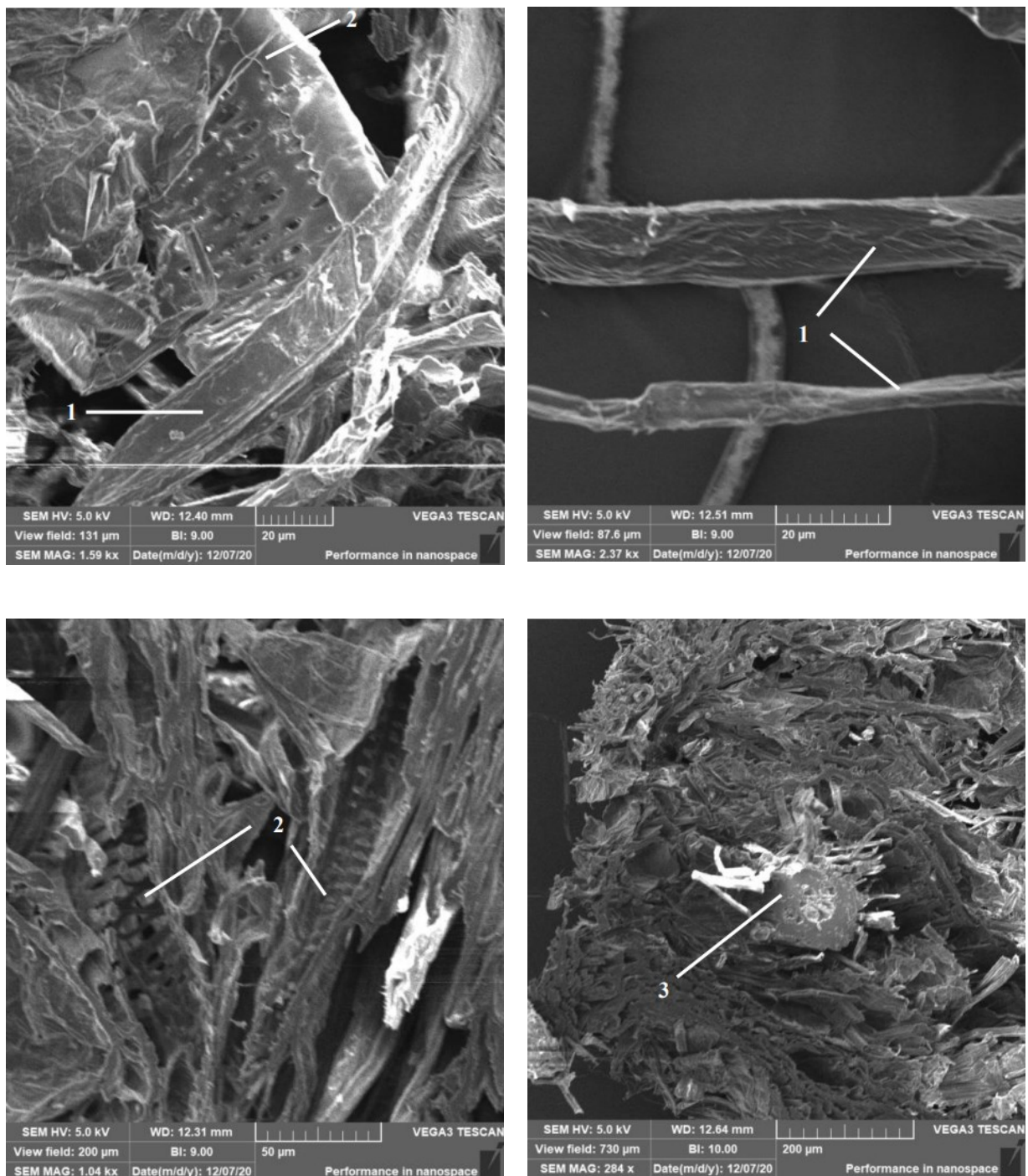


Рис. 3. Микрофотографии ТЦ из борщевика: 1 – лубяные волокна; 2 – пористые сосуды; 3 – центральный проводящий пучок

Из рисунка 3 следует, что лубяные волокна имеют плоскую форму и складчатую поверхность. Пористые сосуды сохраняют объемную цилиндрическую форму без дефектов поверхности. Также на рисунке виден сохраненный центральный проводящий пучок (для сравнения см. рисунок 1.П позиция 3), проходящий вдоль ствола, что говорит о щадящем способе варки.

Структурно-морфологические свойства ТЦ в сравнении с результатами анализа волокон ТЦ, полученной ООСВ из другого растительного сырья [26], приведены в таблице 5 и на рисунке 4.

Согласно полученным данным (табл. 5), волокна ТЦ из борщевика самые короткие – 0.70 мм из рассматриваемых видов ТЦ, но по средней ширине (20.4 мкм) сопоставимы с волокнами ТЦ из соломы овса (20.2 мкм) и гречихи (24.0 мкм). Соотношение длины к ширине у волокон борщевика – 34.3; низкое содержание мелочи, что совпадает с показателем ТЦ из соломы овса и гречихи; высокая средняя длина сег-

мента; сопоставимый фактор формы 87.1% с другим сравниваемым растительным сырьем. Грубость волокна из борщевика в 1.5 раза ниже, чем у ТЦ из соломы овса и в 3.1 раза ниже, чем у ТЦ из соломы гречихи, что обеспечит более высокие бумагообразующие свойства. Учитывая, что массовая доля лигнина для всех образцов ТЦ практически равна 3–4% от массы а.с.ц., то снижение грубости для ТЦ из борщевика можно объяснить особенностями строения клеточной стенки.

Образец ТЦ из борщевика (рис. 4) характеризуется полидисперсным распределением волокон. Максимум распределения смещен в область коротких волокон (волокон с размерами до 0.8 мм ≈68%). Распределение волокон по ширине характеризуется узким диапазоном от 19 до 25 мкм и мало зависит от размера фракции.

Таблица 5. Характеристики волокон ТЦ из растительного недревесного сырья

Характеристика	ТЦ из борщевика	ТЦ из соломы		
		риса	овса	гречихи
Средняя длина, мм	0.70	0.79	0.83	0.77
Средняя ширина, мкм	20.4	15.1	20.2	24
Средний фактор формы, %	87.1	84.7	87.0	87.7
Содержание мелочи, % (<0,2 мм)	14.0	37.1	15.4	12.9
Грубость, дг	66.1	54.7	102.3	203.2
Средняя длина сегмента, мм	0.70	0.37	0.66	0.67

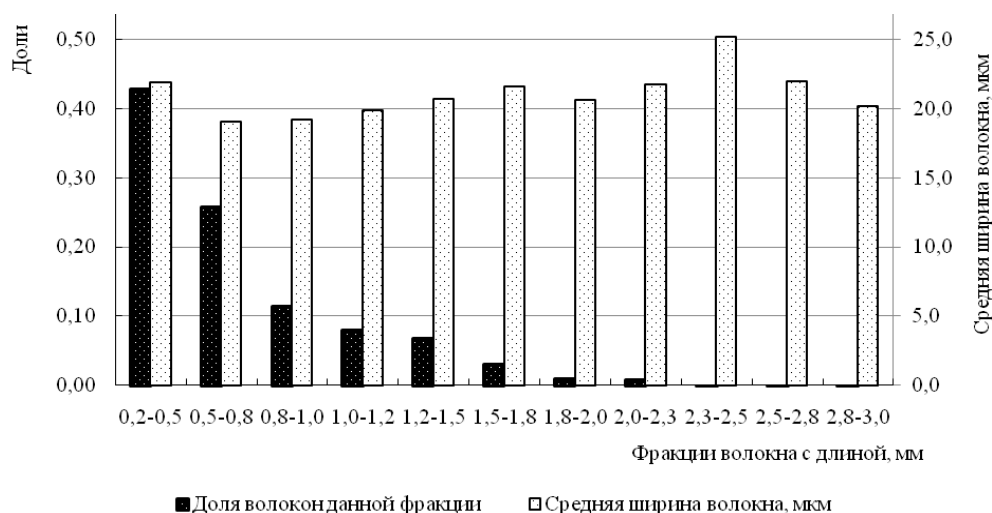


Рис. 4. Фракционный состав по длине и ширине волокна ТЦ из борщевика

### Выводы

Показано, что сырье в виде стеблей и побегов обогащения борщевика, заготовленное в августе, содержит меньше лигнина, больше целлюлозы и минеральных веществ по сравнению с сырьем, заготовленным в сентябре. Водная вытяжка из сырья собранного сентябре имеет более низкий рН при любом способе экстрагирования.

Установлен компонентный состав лигнифицированных стеблей и побегов борщевика: массовая доля лигнина – 21.9%, целлюлозы – 46.4%. ООСВ с предварительной щелочной обработкой в зависимости от условий получена ТЦ с выходом 49.5–49.7% от а.с.ц., массовой долей лигнина 3.9–4.3% от массы а.с.ц., белизной 72.0–80.2%.

Наилучшие показатели имеет ТЦ, полученная при расходе рПУК 0.8 г/г и с продолжительности щелочной обработки 90 мин. Анатомические элементы ТЦ из борщевика содержат лубяные волокна, паренхимные клетки и сосуды. Средняя длина волокна составляет 0.70 мм, а средняя ширина волокна – 20.4 мкм. Таким образом, по компонентному составу борщевик пригоден для получения ТЦ. По фракционному составу и размерам волокон полученную ТЦ следует отнести к коротковолокнистым полуфабрикатам и рекомендовать к использованию в композиции при производстве бумаги и картона.

**Список литературы**

1. Бочкова Т.А., Мамий С.А. Проблемы экологической безопасности России // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. №125. С. 800–811. DOI: 10.21515/1990-4665-125-054.
2. Третьякова Е.М., Петрухин Я.В. Целлюлозно-бумажная промышленность: обеспечение безопасности и проблемы переработки отходов // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2012. №1(19). С. 43–45.
3. Козбан П.Ф., Краснов А.А., Тихомиров С.Г. Проблема уничтожения борщевика Сосновского в водоохраных и природоохраных зонах // XXII Международный Биос-форум 2017. Санкт-Петербург, 2017. С. 63–66.
4. Черепанов С.К. Сосудистые растения России и сопредельных государств (в пределах бывшего СССР). СПб., 1995. 992 с.
5. Ткаченко К.Г., Краснов А.А. Борщевик Сосновского: экологическая проблема или сельскохозяйственная культура будущего? (Обзор) // Бюллетень Ботанического сада-института ДВО РАН. 2018. №20. С. 1–22. DOI: 10.17581/bbgi2002.
6. Виноградова Ю.К., Майоров С.Р., Хорун Л.В. Черная книга флоры Средней России (Чужеродные виды растений в экосистемах Средней России). М., 2009. 494 с.
7. Патент № 2458148 (РФ). Способ получения белого сахара из борщевика / Д.С. Стребков, С.С. Доржиев, Е.Г. Базарова, И.Б. Патева. 2012.
8. Доржиев С.С., Базарова Е.Г. БиоЭтанол из зеленой массы борщевика сосновского // Инновации в сельском хозяйстве. 2012. №2(2). С. 10–16.
9. Патент № 2458106 (РФ). Биоэтанол из борщевика как дикорастущего, так и культивируемого / Д.С. Стребков, С.С. Доржиев, Е.Г. Базарова, И.Б. Патева. 2012.
10. Игнатенков М.М. Экспериментальное исследование процесса получения этанола из борщевика // Colloquium-journal. 2018. №13-7(24). С. 38–40.
11. Ершова А.С., Савиновских А.В., Артемов А.В., Бурындин В.Г. Борщевик Сосновского как сырье для получения пластиков // Вестник Технологического университета. 2020. Т. 23. №10. С. 34–37.
12. Ершова А.С., Савиновских А.В., Артемов А.В., Шестаков Д.И., Вураско А.В. Использование побеговой части борщевика Сосновского для получения древесных пластиков без связующего // Вестник Технологического университета. 2020. Т. 23. №12. С. 52–55.
13. Полина И.Н., Миронов М.В., Белый В.А. Термогравиметрическое и кинетическое исследование топливных гранул из биомассы *Heracleum Sosnowskyi Manden* // Известия вузов. Химия и химическая технология. 2021. Т. 64, вып. 4. С. 15–20.
14. Павлов А.В., Баранова Н.Д., Шурупов Е.А. Аннергия инвазионных растений на примере борщевика Сосновского // Естественные науки: исследование и обучение. 2020. С. 246–254.
15. Ткаченко К.Г. Род *Heracleum* – перспективные эфиромасличные растения // Научный и инновационный потенциал развития производства, переработки и применения эфиромасличных и лекарственных растений. Симферополь, 2019. С. 88–92.
16. Купов И.С. Разработка метода выделения пектина и фуранокумаринов из борщевика Сосновского // Открытая городская научно-практическая конференция «Инженеры будущего». М., 2020. С. 309–311.
17. Киреева Н.Е., Шеховцова А.Ю., Кувардин Н.В. Методы подготовки к использованию борщевика Сосновского в лекарственное растительное сырье // Поколение будущего: Взгляд молодых ученых-2020. Курск, 2020. С. 111–113.
18. Ламан Н.А., Копылова Н.А., Прохоров В.Н. Борщевик Сосновского (*Heracleum sosnowskyi Manden*) как перспективный источник биологически активных соединений // Клеточная биология и биотехнология растений. Минск, 2018. С. 41–42.
19. Демина Л.Л., Малкова М.А., Зайцева М.В., Агафонова Е.А. Изучение биохимического состава наземной части борщевика // Общество, наука, инновации (НПК-2015). Киров, 2015. С. 105–106.
20. Возняковский А.П., Карманов А.П., Неверовская А.Ю., Возняковский А.А., Кочева Л.С., Кидалов С.В. Биомасса борщевика Сосновского как сырье для получения 2D углеродных наноструктур // Химия растительного сырья. 2020. №4. С. 83–92. DOI: 10.14258/jcrpm.2020047739.
21. Возняковский А.П., Неверовская А.Ю., Возняковский А.А., Карманов А.П., Шугалей И.В. Биомасса борщевика как сырье для получения 2D наноуглеродов. Экологический аспект // Экологическая химия. 2020. Т. 29. №4. С. 190–195.
22. Мусихин П.В., Сигаев А.И. Исследование физических свойств и химического состава борщевика сосновского и получение из него волокнистого полуфабриката // Современные наукоемкие технологии. 2006. №3. С. 65–67.
23. Захаров А.Г., Воронова М.И., Сузов О.В. Характеристика целлюлозы и нанокристаллической целлюлозы, полученных из лигноцеллюлозной массы борщевика Сосновского // Физика волокнистых материалов: структура, свойства, наукоемкие технологии и материалы (SMARTEX). 2020. №1. С. 177–181. DOI: 10.47367/2413-6514\_2020\_1\_177.
24. Сацыперова И.Ф. Борщевики флоры СССР – новые кормовые растения. СПб., 1984. 223 с.



25. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. М., 1991. 320 с.
26. Материалы из нетрадиционных видов волокон: технологии получения, свойства, перспективы применения / под ред. А.В. Вураско. Екатеринбург, 2020. 252 с.
27. Азаров В.И., Бузов А.В., Оболенская А.В. Химия древесины и синтетических полимеров: 2-е изд. испр. СПб., 2021. 624 с.

*Поступила в редакцию 27 августа 2021 г.*

*После переработки 6 сентября 2021 г.*

*Принята к публикации 27 сентября 2021 г.*

**Для цитирования:** Вураско А.В., Агеев М.А., Сиваков В.П. Получение и свойства технической целлюлозы из борщевика окислительно-органо-растворителем // Химия растительного сырья. 2022. №1. С. 289–298. DOI: 10.14258/jcprm.20220110121.

*Vurasko A.V.\**, *Ageev M.A.*, *Sivakov V.P.* PREPARATION AND PROPERTIES OF TECHNICAL CELLULOSE FROM HOGWEED BY THE OXIDATIVE-ORGANOSOLVENT METHOD

*Ural State Forestry Engineering University, Sibirsky Trakt, 37, Yekaterinburg, 620100 (Russia),  
e-mail: vurasko2010@yandex.ru*

Hogweed multiplies rapidly and gains a large volume of phytomass during the growing season, which allows us to consider the mature biomass of hogweed as a raw material for cellulose production. The aim of the work is to obtain cellulose from lignified stems of hogweed by an oxidative-organosolvent method and study its properties. Raw materials in the form of stems harvested in August contain less lignin, more cellulose and minerals, compared to raw materials harvested in September. The component composition of raw materials: the mass fraction of lignin is 21.9%, cellulose is 46.4% of the absolutely dry raw materials. Depending on the conditions, cellulose with a yield of 49.5–49.7% was obtained by redox-organosolvent cooking with preliminary alkaline treatment % of absolutely dry raw materials, the mass fraction of lignin is 3.9–4.3% of the mass of absolutely dry cellulose, whiteness 72.0–80.2%. The best indicators for physical and mechanical properties are cellulose obtained at a consumption of 0.8 g/g of equilibrium peroxyacetic acid and with a duration of alkaline treatment of 90 minutes. The analysis of cellulose showed that it is possible to obtain cellulose from hogweed that is comparable in characteristics to GOST 28172-89. The anatomical elements of cellulose contain bast fibers, parenchymal cells and vessels. The average fiber length is 0.70 mm, and the average fiber width is 20.4 microns. According to the fractional composition and fiber sizes, the resulting cellulose should be attributed to short-fiber semi-finished products.

*Keywords:* hogweed, cellulose, lignin, redox-organosolvent pulping, delignification, structural and morphological properties of fibers.

---

\* Corresponding author.

## References

1. Bochkova T.A., Mamiy S.A. *Politematicheskiiy setevoy elektronnyy nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017, no. 125, pp. 800–811. DOI: 10.21515/1990-4665-125-054. (in Russ.).
2. Tretyakova Ye.M., Petrukhin Ya.V. *Vektor nauki Tol'yatinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2012, no. 1(19), pp. 43–45. (in Russ.).
3. Kozban P.F., Krasnov A.A., Tikhomirov S.G. *XXII Mezhdunarodnyy Bios-forum 2017*. [XXII International Bios-forum 2017]. St.-Petersburg, 2017, pp. 63–66. (in Russ.).
4. Cherepanov S.K. *Sosudistyye rasteniya Rossii i sopredel'nykh gosudarstv (v predelakh byvshego SSSR)*. [Vascular plants of Russia and neighboring states (within the former USSR)]. St.-Petersburg, 1995, 992 p. (in Russ.).
5. Tkachenko K.G., Krasnov A.A. *Byulleten' Botanicheskogo sada-instituta DVO RAN*, 2018, no. 20, pp. 1–22. DOI: 10.17581/bbgi2002. (in Russ.).
6. Vinogradova YU.K., Mayorov S.R., Khorun L.V. *Chernaya kniga flory Sredney Rossii (Chuzherodnyye vidy rasteniy v ekosistemakh Sredney Rossii)*. [Black Book of Flora of Central Russia (Alien species of plants in the ecosystems of Central Russia)]. Moscow, 2009, 494 p. (in Russ.).
7. Patent № 2458148 (RU). 2012. (in Russ.).
8. Dorzhiyev S.S., Bazarova Ye.G. *Innovatsii v sel'skom khozyaystve*, 2012, no. 2(2), pp. 10–16. (in Russ.).
9. Patent № 2458106 (RU). 2012. (in Russ.).
10. Ignatenkov M.M. *Colloquium-journal*, 2018, no. 13-7(24), pp. 38–40. (in Russ.).
11. Yershova A.S., Savinovskikh A.V., Artemov A.V., Buryndin V.G. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, 2020, vol. 23, no. 10, pp. 34–37. (in Russ.).
12. Yershova A.S., Savinovskikh A.V., Artemov A.V., Shestakov D.I., Vurasko A.V. *Vestnik Tekhnologicheskogo universiteta*, 2020, vol. 23, no. 12, pp. 52–55. (in Russ.).
13. Polina I.N., Mironov M.V., Belyy V.A. *Izvestiya vuzov. Khimiya i khimicheskaya tekhnologiya*, 2021, vol. 64, no. 4, pp. 15–20. (in Russ.).
14. Pavlov A.V., Baranova N.D., Shurupov Ye.A. *Yestestvoznaniye: issledovaniye i obucheniyey*, 2020, pp. 246–254. (in Russ.).
15. Tkachenko K.G. *Nauchnyy i innovatsionnyy po-tentsial razvitiya proizvodstva, pererabotki i primeneniya efiro-maslichnykh i lekarstvennykh rasteniy*. [Scientific and innovative potential for the development of production, processing and use of essential oil and medicinal plants]. Simferopol', 2019, pp. 88–92. (in Russ.).
16. Kupov I.S. *Otkrytaya gorodskaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya «Inzheneriy budushchego»*. [Open city scientific and practical conference "Engineers of the Future"]. Moscow, 2020, pp. 309–311. (in Russ.).
17. Kireyeva N.Ye., Shekhovtsova A.Yu., Kuvardin N.V. *Pokoleniye budushchego: Vzglyad molodykh uchenykh-2020*. [Generation of the future: View of young scientists-2020]. Kursk, 2020, pp. 111–113.
18. Laman N.A., Kopylova N.A., Prokhorov V.N. *Kletochnaya biologiya i biotekhnologiya rasteniy*. [Cell biology and plant biotechnology]. Minsk, 2018, pp. 41–42. (in Russ.).
19. Demina L.L., Malkova M.A., Zaytseva M.V., Agafonova Ye.A. *Obshchestvo, nauka, innovatsii (NPK-2015)*. [Society, science, innovations (NPK-2015)]. Kirov, 2015, pp. 105–106. (in Russ.).
20. Voznyakovskiy A.P., Karmanov A.P., Neverovskaya A.Yu. *Voznyakovskiy A.A., Kocheva L.S., Kidalov S.V. Khimiya rastitel'nogo syr'ya*, 2020, no. 4, pp. 83–92. DOI: 10.14258/jcprm.2020047739. (in Russ.).
21. Voznyakovskiy A.P., Neverovskaya A.Yu., Voznyakovskiy A.A., Karmanov A.P., Shugaley I.V. *Ekologicheskaya khimiya*, 2020, vol. 29, no. 4, pp. 190–195. (in Russ.).
22. Musikhin P.V., Sigayev A.I. *Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii*, 2006, no. 3, pp. 65–67. (in Russ.).
23. Zakharov A.G., Voronova M.I., Surov O.V. *Fizika voloknistykh materialov: struktura, svoystva, naukoymkiye tekhnologii i materialy (SMARTEX)*, 2020, no. 1, pp. 177–181. DOI: 10.47367/2413-6514\_2020\_1\_177. (in Russ.).
24. Satsyperova I.F. *Borshcheviki flory SSSR – novyye kormovyye rasteniya*. [Hogweeds of the USSR flora – new fodder plants]. St.-Petersburg, 1984, 223 p. (in Russ.).
25. Obolenskaya A.V., Yel'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornyye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy*. [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose]. Moscow, 1991, 320 p. (in Russ.).
26. *Materialy iz netraditsionnykh vidov volokon: tekhnologii polucheniya, svoystva, perspektivy primeneniya* [Materials from non-traditional types of fibers: production technologies, properties, application prospects], ed. A.V. Vurasko. Yekaterinburg, 2020, 252 p. (in Russ.).
27. Azarov V.I., Burov A.V., Obolenskaya A.V. *Khimiya drevesiny i sinteticheskikh polimerov: 2-ye izd. ispr.* [Chemistry of wood and synthetic polymers: 2nd ed. correction]. St.-Petersburg, 2021. 624 c. (in Russ.).

Received August 27, 2021

Revised September 6, 2021

Accepted September 27, 2021

**For citing:** Vurasko A.V., Ageev M.A., Sivakov V.P. *Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya*, 2022, no. 1, pp. 289–298. (in Russ.). DOI: 10.14258/jcprm.20220110121.