



Научная статья

2.6.13 – Процессы и аппараты химических технологий (технические науки)

УДК 66.094.6: 661.123:676.166.3

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.023



## ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ПРОДУКТА ИЗ КОНОПЛЯНОЙ ЛУЗГИ

Любовь Анатольевна Зайцева<sup>1</sup>, Анастасия Валерьевна Волкова<sup>2</sup>,  
Ирина Эдуардовна Миневи́ч<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> ФГБНУ Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

<sup>1</sup> zaitzeva@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8902-7618>

<sup>2</sup> a.volkova@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9104-1606>

<sup>3</sup> i.minevich@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>

**Аннотация.** В связи с возрождением производства технической конопли в России увеличиваются объемы вторичного сырья, в том числе и лузги, остающейся после обрушивания семян. Цель настоящего исследования – получение целлюлозных продуктов из конопляной лузги, а также исследование физико-химических свойств полученных образцов. Исследуемая лузга содержит 40,8 % целлюлозы. Целлюлозные продукты получали в лабораторных условиях пероксидным и кислотнo-щелочными способами. При пероксидной обработке в качестве катализатора была использована серная кислота. В результате определения физико-химических, а также функционально-технологических свойств образцов установлено, что целлюлозные продукты характеризуются высоким качеством: в продукте, полученном пероксидным методом, содержание целлюлозы от 68,4 % до 79,8 %, лигнина – от 3,6 % до 9,5 %, средняя степень полимеризации – от 131 до 203, водоудерживающая способность – 4,5–7,0 г/г продукта, жиродерживающая способность 3,0–4,0 г/г продукта; в продукте, полученном кислотнo-щелочным методом, содержание целлюлозы 84,8 %, лигнина 4,3 %, средняя степень полимеризации 291, водоудерживающая способность 4,5–5,0 г/г продукта, жиродерживающая способность 3,0–3,5 г/г продукта. Перспективно использование целлюлозных продуктов, полученных описанными методами, в пищевой промышленности в качестве функциональных добавок.

**Ключевые слова:** растительная лузга, техническая конопля, целлюлозный продукт, органосольвентный метод, кислотнo-щелочной метод, делигнификация, водоудерживающая способность, жиродерживающая способность.

**Благодарности:** Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания Федерального научного центра лубяных культур (№ FGSS-2022-0007) научного центра лубяных культур (№ FGSS-2022-0007).

---

**Для цитирования:** Зайцева Л. А., Волкова В. В., Миневи́ч И. Э. Получение целлюлозного продукта из конопляной лузги // Ползуновский вестник. 2023. № 2. С. 174–183. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.023. EDN: <https://elibrary.ru/WCTYHR>.

---

Original article

## EXTRACTION OF CELLULOSE FIBERS FROM HEMP HUSK

Liubov A. Zaitseva<sup>1</sup>, Anastasiya V. Volkova<sup>2</sup>, Irina E. Minevich<sup>3</sup>

<sup>1, 2, 3</sup> Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver, Russia

<sup>1</sup> zaitzeva@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8902-7618>

<sup>2</sup> a.volkova@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9104-1606>

<sup>3</sup> i.minevich@fncl.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>

---

© Зайцева Л. А., Волкова В. В., Миневи́ч И. Э., 2023

**Abstract.** The volume of secondary raw materials is increasing due to the revival of technical hemp production in Russia, including the hemp husks that remain after seed crushing. The aim of the present study is to obtain cellulose products from hemp husks, as well as to study the physico-chemical characteristics of the obtained samples. The studied husk contains 40.8% cellulose. The cellulose products were obtained in laboratory conditions by peroxide and acid-alkaline methods. Sulfuric acid is used as a catalyst in peroxide treatment. According to the results of determining the physical, chemical, as well as functional and technological properties of the samples, it was found that the cellulose products are characterized by high quality. The product obtained by the peroxide method has a cellulose content from 68.4% to 79.8%, lignin content from 3.6% to 9.5%, the average degree of polymerization from 131 to 203, water-holding capacity is 4.5-7.0 g/g product, fat-holding capacity is 3.0-4.0 g/g product. The product obtained by the acid-alkaline method has a cellulose content 84.8%, lignin 4.3%, the average degree of polymerization 291, water retention capacity 4.5-5.0 g/g product, fat retention capacity 3.0-3.5 g/g product. The cellulose products obtained by the described methods are prospective for the food industry as functional additives.

**Keywords:** plant husk, technical hemp, cellulose product, organosolvent method, acid-alkaline method, delignification, water-holding capacity, oil-binding capacity.

**Acknowledgements:** This research was supported by the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation (№ FGSS-2022-0007).

**For citation:** Zaitseva, L. A., Volkova, A. V., Minevich, I. E. (2023). Extraction of cellulose fibers from hemp husk. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 174-183. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.023. EDN: <https://elibrary.ru/WCTYHR>.

## ВВЕДЕНИЕ

Лигноцеллюлоза – это биополимер, состоящий из целлюлозы, гемицеллюлозы и лигнина. Она содержится в древесине, клеточных стенках растений, а также отходах сельскохозяйственного производства и целлюлозно-бумажной промышленности. В условиях обостряющегося кризиса загрязнения окружающей среды и нехватки энергии комплексное использование лигноцеллюлозы стало одним из самых перспективных направлений исследований. Лигноцеллюлозные биополимеры могут быть преобразованы в биоэнергию, химикаты, целлюлозно-бумажные продукты, корма для животных, композитные полимеры [1, 2].

Целлюлоза, как самый востребованный в промышленности компонент лигноцеллюлозы, является важным сырьем для химической переработки, на основе которого можно получать различные технически ценные и во многих случаях незаменимые продукты и материалы [3].

Основным сырьевым источником целлюлозы является древесина, однако в последние годы предпринимаются попытки найти новые, более выгодные и экологически безопасные способы выработки целлюлозы высокого выхода и удовлетворительного качества из растительных тканей с использованием новых альтернативных сырьевых баз. Во многих странах наблюдается резкий рост использования недревесной целлюлозы, включая однолетние растения и сельскохозяйственные отходы (пшеничную/рисовую солому и т.д.) [4, 5, 6, 7].

Применение этих отходов в настоящее время нерационально, поскольку они обычно сжигаются на открытой местности в плохо контролируемых условиях, причиняя ущерб окружающей среде из-за образования сильного смога.

Использование недревесных материалов имеет ряд преимуществ: дешевизна, ежегодная воспроизводимость, простота получения целлюлозы и высокое качество отбеленной целлюлозы [4].

Однако масштабирование промышленного получения целлюлозы из недревесных материалов сдерживают особенности данного сырья: тенденция к окрашиванию и порче, содержание диоксида кремния (например, в рисовой шелухе), изменчивость морфологии и химического состава и др. [8].

Отходы конопляного производства характеризуются большим содержанием целлюлозы. Коноплеводство было традиционным направлением сельского хозяйства в России. В первой половине двадцатого столетия Россия занимала первое место по площади посевов конопли. Несмотря на то, что в настоящее время площади посева невелики, динамика посевов свидетельствует о возрождении производства данной культуры. Так, в 2016 г. общая площадь посевов составила около 3 тыс. га, а в 2020 г. приблизилась к 20 тыс. га. В связи с увеличением посевов и переработки конопли увеличивается и объем вторичного сырья, в том числе и лузги, остающейся после обрушивания семян конопли [9, 10].

Существуют различные варианты переработки конопляной лузги, в частности ее предлагают использовать в качестве сорбента, субстрата при выращивании грибов и микрозелени, мульчирующего материала, компонента для приготовления экструдированного грубого корма для сельскохозяйственных животных, наполнителя текстильных изделий, сырья для извлечения меланинов и производства этанола, фурфурола, ацетона, ксилозы [11, 12, 13, 14, 15].

Перспективным направлением переработки конопляной лузги является целлюлозное производство в связи с высоким содержанием в ней основного вещества. Эффективность переработки зависит от полноты делигнификации материала, т.е. степени удаления ароматической составляющей – лигнина, и освобождения углеводной составляющей (холоцеллюлозы), из которой в дальнейшем выделяют целлюлозу в чистом виде. Из-за высокой прочности клеточной стенки преобразование лигноцеллюлозных материалов является трудоемким процессом [16].

Разнообразие способов делигнификации недревесных материалов постоянно расширяется, на смену устаревшим сульфатному и сульфитному способам приходят новые, более экологически приемлемые [17]. В результате анализа литературных источников для настоящего исследования были выбраны органосольventный и кислотнo-щелочной способы делигнификации, поскольку они являются простыми в осуществлении, не требуют сложного оборудования, дорогих и опасных реактивов и экстремальных условий, а также отличаются приемлемым выходом готового продукта.

Эффективность кислотнo-щелочной делигнификации обусловлена высокой селективностью взаимодействия азотной кислоты с лигнином. В данном случае обеспечивается глубокая очистка растительного сырья от лигнина в достаточно мягких условиях (умеренные температуры и атмосферное давление). Привлекательность использования азотной кислоты связана также с возможностью рециклизации отработанных растворов.

В работе [18] в качестве недревесного источника целлюлозы была использована солома льна-межеумка. Целлюлозы, полученные азотнокислым и комбинированным (щелочной + азотнокислым) способами, характеризуются низким содержанием остаточного лигнина (от 0,33 % до 1,38 % в пересчете на абсолютно сухое сырье) и высоким содержанием  $\alpha$ -целлюлозы (от 77,7 % до 87,7 % в пересчете на а.с.с.).

В обзоре [19] описано получение технической целлюлозы азотнокисло-натронной делиг-

нификацией из соломы озимой ржи с содержанием остаточного лигнина 2,2 %. Отмечается возможность быстрого проведения процесса при атмосферном давлении, использование стандартного химического оборудования.

При органосольventных варках из органических кислот чаще всего используют уксусную и муравьиную кислоты, которые обеспечивают высокий выход технической целлюлозы за счет мягких условий делигнификации и позволяют исключить применение хлорсодержащих соединений в процессе отбеливания целлюлозы.

В работе [20] была рассмотрена методика получения технической целлюлозы из пшеничной соломы путем катализируемой делигнификации перуксусной кислотой. В результате исследования была выявлена эффективность каталитического действия серной кислоты на процесс делигнификации.

А.В. Вураско с соавторами [21] была разработана технологическая схема окислительно-органосольventной варки недревесного растительного сырья. По разработанной технологии полученная целлюлоза обладает уникальными свойствами по белизне.

В работе [22] исследованы прочностные свойства получаемой пероксидной целлюлозы из пшеничной соломы. Установлено, что целлюлоза, полученная описанным в работе способом, не уступает регламентируемым свойствам сульфатной беленой целлюлозы из древесины лиственных пород.

Целью данной работы является получение целлюлозных продуктов из конопляной лузги, а также исследование их физико-химических и функционально-технологических свойств.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

В качестве объектов исследования использовали лузгу семян конопли и полученный из нее целлюлозный продукт.

Конопляная лузга представляет собой смесь полусферических слегка вытянутых зеленовато-коричневых матовых твердых оболочек и остатков ядра семян конопли.

Продукт, получаемый в результате гидролиза конопляной лузги, является технической целлюлозой, представляет порошкообразное вещество белого или бежевого цвета, может иметь желтоватый оттенок.

Измельченное сырье подвергали предварительному обезжириванию экстракцией гексаном при соотношении сырье : растворитель – 1 : 5, T 60 °C в течение 5 часов с отделением мисцеллы и добавлением свежей порции растворителя спустя 3 часа от начала процесса. Обезжиривание лузги проводили до содержания липидов  $\leq 2,0$  %.

ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ПРОДУКТА ИЗ КОНОПЛЯНОЙ ЛУЗГИ

Целлюлозу из лузги конопли получали пероксидной и кислотнo-щелочной обработкой в лабораторных условиях, описанных в таблице 1.

Таблица 1 – Способы проведения гидролиза и их вариации

Table 1 – Methods for carrying out hydrolysis and their variations

№ Эксп.	Реагенты	Стадия	Катализатор	Г*	Т, °С	t, ч
<b>Пероксидная обработка</b>						
1	CH <sub>3</sub> COOH+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (13,5+7,9 г-моль/л)	1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> кц 0,5%	8	110	3
	CH <sub>3</sub> COOH+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (13,3+8,2 г-моль/л)	2	–	10	110	1
2	CH <sub>3</sub> COOH+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (13,5+7,9 г-моль/л)	1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> кц 0,5%	8	110	2
	CH <sub>3</sub> COOH+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (13,3+8,2 г-моль/л)	2	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> кц 0,5%	10	110	2
3	CH <sub>3</sub> COOH+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (12,5+7,5 г-моль/л)	1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> кц 0,5%	8	85	4
4	CH <sub>3</sub> COOH+H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> (9,8+13,9 г-моль/л)	1	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (72%) 0,5%	8	85	4
<b>Кислотно-щелочная обработка</b>						
5	HNO <sub>3</sub> 2,7%	1	–	8,4	Комн.	1
					40–90	1
	NaOH 1,5%	2	–	13	93	1

\*Г – гидромодуль

При пероксидной обработке измельченное сырье в количестве 10 г. подвергали нагреванию с варочным раствором, содержащим уксусную кислоту, перекись водорода и каталитическое количество серной кислоты. Переменными факторами процесса варки являлись соотношение компонентов в варочном растворе, режим варки (температура, продолжительность, гидромодуль – соотношение композиции реагентов и сырья). Варку проводили в стеклянных колбах в термостате, без перемешивания.

Кислотно-щелочной способ предполагал следующие стадии: обработка измельченной конопляной лузги в количестве 10 г. 2,7 %-ным раствором HNO<sub>3</sub> в трех температурных режимах (комнатная температура, подъем температуры до 90 °С, выдерживание при 90 °С), выдерживание полупродукта при температуре выше 90 °С в исходном растворе с добавлением 1,5%-ного раствора NaOH.

Определение характеристик сырья и целевых продуктов выполняли по стандартным методикам: содержание жира – по ГОСТ 10857-64, белка – по ГОСТ 13496.4-2019, влажности – по ГОСТ 10856-96, сырой клетчатки – ГОСТ 31675-2012, зольности – 26226-95.

Содержание целлюлозы в целевом продукте определяли в соответствии с методикой, приведенной в источнике [23]. Метод ос-

нован на азотнокислом гидролизе в спиртовой среде. Согласно данному методу, навеска образца обрабатывается смесью концентрированной азотной кислоты и этилового спирта; при этом лигнин, нитруясь и частично окисляясь, переходит в раствор спирта. Спиртовая среда снижает окисляющее и гидролизующее действие азотной кислоты на целлюлозу, гемицеллюлозы же в основном гидролизуются.

Определение средней степени полимеризации целевого целлюлозосодержащего продукта проводили в соответствии с методикой, приведенной в источнике [24]. Метод основан на определении содержания скрытых концевых альдегидных групп по йодному числу. В данном случае йодное число (И.Ч.) – это количество мл 0,1 н раствора йода, которое расходуется на взаимодействие с 1 г целлюлозы.

Среднюю молекулярную массу (М) и степень полимеризации (Р) целлюлозы рассчитывали на основании значений йодного числа по формулам:

$$M = \frac{20000}{И.Ч.},$$

где 20000 – число 0,1 н раствора йода, в котором содержится 1 г-моль йода;

$$P = \frac{M}{162},$$

где 162 – молекулярная масса элементарного звена целлюлозы.

Определение содержания  $\alpha$ -целлюлозы – кристаллической фракции целлюлозы в составе целлюлозосодержащего продукта проводили по методике, описанной в источнике [25]. Высокомолекулярная фракция целлюлозы, не растворимая в 17,5 % растворе едкого натра, называется  $\alpha$ -целлюлозой. Метод основан на гравиметрическом определении массы оставшейся навески образца после обработки 17,5%-ным раствором NaOH. Содержание  $\alpha$ -целлюлозы рассчитывали по формуле:

$$A = \frac{(g_1 - g)100}{g_2(100 - W)} 100,$$

где  $g_1$  – масса бюкса с высушенной  $\alpha$ -целлюлозой, г;

$g$  – масса бюкса, г;

$g_2$  – навеска воздушно-сухой целлюлозы, г;

$W$  – влажность анализируемого продукта, %.

Определение водоудерживающей и жирудерживающей способностей (ВУС и ЖУС) в целевом продукте проводили в соответствии с методикой, приведенной в источнике [26]. За величину ВУС принимают максимальное количество добавленной дистиллированной воды, при котором не наблюдается отделения водной фазы от целевого продукта, в пересчете на 1 г. продукта:

$$ВУС = \frac{(M_r - M_c)}{M_c},$$

где  $M_r$  – масса гидратированного целлюлозного продукта, г;

$M_c$  – масса сухого целлюлозного продукта, г.

За величину ЖУС принимают максимальное количество добавленного масла, при котором не наблюдается отделения масляной фазы от целевого продукта, в пересчете на 1 г. продукта:

$$ЖУС = \frac{(M_n - M_c)}{M_c},$$

где  $M_n$  – масса сольватированного целлюлозного продукта, г;

$M_c$  – масса сухого целлюлозного продукта, г.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Исходная лузга семян конопли является побочным продуктом обрушивания семян конопли. В используемой лузге содержание фракции ядра составило 7,7 %.

Характеристика конопляной лузги представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика конопляной лузги

Table 2 – Characteristics of hemp husk

Наименование показателя	Показатель
Сырой протеин, %	11,2±0,6
Сырой жир, %	9,2±0,5
Сырая клетчатка, %	26,2±1,3
Зольность	4,6± 0,2
Влажность, %	8,1 ±0,4
Содержание целлюлозы, %	40,8±2,0
Остаток ядра, %	7,7±0,4

Содержание целлюлозы в конопляной лузге составило 40,8 %, что выше, чем в рисовой (28 %), овсяной (29 %) шелухе и подсолнечной лузге (23 %) [27].

Конопляная лузга, состоящая практически из оболочки семян и незначительной фракции ядра, является перспективным возобновляемым сырьем для получения целлюлозосодержащих продуктов.

В таблице 3 приведены физико-химические свойства образцов целлюлозных продуктов, полученных из конопляной лузги исследуемыми способами.

Таблица 3 – Физико-химические свойства образцов целлюлозных продуктов, полученных из конопляной лузги пероксидным и кислотнo-щелочным способами

Table 3 – Physical and chemical properties of samples of cellulose products obtained from hemp husks by peroxide and acid-alkaline methods

№ Эксп.	Выход %	Содержание, %				Степень полимеризации
		Целлюлоза	$\alpha$ -целлюлоза		Лигнин	
			В целлюлозном продукте	В пересчете на целлюлозу		
<b>Пероксидная обработка</b>						
1	37,27	79,5	46,80	58,92	3,6	203
2	31,73	77,3	57,07	73,51	5,0	184
3	47,10	68,4	50,86	74,62	9,5	131
4	38,41	79,8	59,24	71,38	5,8	167
<b>Кислотно-щелочная обработка</b>						
5	30,86	84,8	76,12	89,99	4,3	291

## ПОЛУЧЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНОГО ПРОДУКТА ИЗ КОНОПЛЯНОЙ ЛУЗГИ

Средний выход целлюлозного продукта после пероксидной обработки составил 38,63 %. Массовая доля остаточного лигнина варьировала в интервале от 3,6 % до 9,5 %. Содержание целлюлозы в целлюлозном продукте, полученном пероксидным методом, изменялось в пределах от 68,4 % до 79,8 %. Наибольшее ее содержание было обнаружено в продукте, полученном при одностадийной обработке (эксп. 4, таблица 1). Этот же образец обладал и самым высоким содержанием  $\alpha$ -целлюлозы.

Также в случае пероксидной обработки (таблица 1) эксперименты, проводимые в две стадии, отличались друг от друга следующими условиями (таблица 1): наличием катализатора в одной (эксперимент 1) либо в обеих

стадиях (эксперимент 2) и продолжительностью стадий (3 и 1 часа соответственно в эксперименте 1, 2 и 2 часа в эксперименте 2). В присутствии катализатора (серной кислоты) в обеих стадиях (эксперимент 2) уменьшался выход целлюлозного продукта, вероятно вследствие гидролиза легкогидролизуемых полисахаридов при одновременном незначительном увеличении массовой доли лигнина [20]. Это объясняется тем, что под действием кислоты происходит инактивация (кислотная конденсация) лигнина, приводящая к снижению его реакционной способности и растворимости.

Внешний вид целлюлозных продуктов, полученных пероксидным методом, представлен на рисунке 1.



Рисунок 1 – Целлюлозные продукты, полученные пероксидным методом:  
а – 1 способ; б – 2 способ; с – 3 способ; д – 4 способ

Figure 1 – Cellulosic products obtained by the pyroxide method:  
a - 1st way, b - 2nd way, c - 3rd way, d - 4th way

Представленные образцы отличаются по своей окраске. Можно предположить, цвет целлюлозных продуктов, полученных с использованием пероксидной варки (рисунок 1), коррелирует с содержанием остаточного лиг-

нина: более окрашенным является образец с наибольшим содержанием лигнина.

Выход целлюлозного продукта, полученного кислотнo-щелочным способом, составил 30,86 %. По внешнему виду целлюлозный продукт получился более темным (рисунок 2).

Физико-химические свойства данного продукта близки к свойствам образца после пероксидной обработки, однако он характеризуется более высоким содержанием  $\alpha$ -целлюлозы.



Рисунок 2 – Целлюлозный продукт, полученный кислотно-щелочным методом

Figure 2 – Cellulosic product obtained by the acid-alkaline method

Средняя степень полимеризации у целевого продукта после пероксидной обработки находится в пределах от 131 до 203, что незначительно ниже, чем у образца, полученного после кислотно-щелочной обработки.

Можно предположить, что невысокое содержание  $\alpha$ -целлюлозы в целевых продуктах обусловлено наличием аморфной фракции целлюлозы в исходном сырье [18]. Содержание лигнина в целлюлозных продуктах, полученных разными способами, близки.

Результаты определения физико-химических свойств продуктов коррелируют с данными, полученными Т.П. Щербаковой и соавторами [28], которые в своем исследовании получали микрокристаллическую целлюлозу из целлюлоз различных древесных и недревесных материалов. Значения содержания лигнина в образцах порошковой целлюлозы из недревесных источников (варьирует в диапазоне от 0,5 % до 10,0 %), а также степень полимеризации целлюлозы (240–300) близки к данным, полученным в результате настоящего исследования. Однако стоит отметить, что микрокристаллическая целлюлоза была получена авторами гидролизом образцов целлюлозы, в то время как в текущем исследовании исходным материалом являлась обезжиренная лузга конопли.

С целью оценки перспектив использования полученных целлюлозных продуктов определяли их функционально-технологические свойства. Водоудерживающая и жирудерживающая способности цел-

люлозных продуктов, полученных пероксидным методом, составили 4,5–7,0 г/г прод. и 3,0–4,0 г/г прод. соответственно. Водоудерживающая и жирудерживающая способности целлюлозного продукта, полученного кислотно-щелочным методом, также варьировали в близких пределах и составили 4,5–5,0 г/г прод. и 3,0–3,5 г/г прод. соответственно.

Таким образом, полученные целлюлозные продукты могут использоваться в качестве стабилизаторов, загустителей, водо- и жирудерживающих компонентов, а также для обогащения продуктов пищевыми волокнами.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Показана возможность получения базового целлюлозного сырья для получения очищенной целлюлозы либо низкомолекулярных веществ путем проведения гидролиза в мягких условиях.

Получены целлюлозные продукты из конопляной лузги в лабораторных условиях пероксидным и кислотно-щелочным способами. В результате определения физико-химических свойств образцов установлено, что целлюлозные продукты характеризуются высоким качеством: содержание целлюлозы находится на уровне 68,4–79,8 % (продукт пероксидной обработки) и 84,8 % (продукт кислотно-щелочной обработки), содержание лигнина от 3,6 % до 9,5 % и 4,3 % соответственно. Целлюлозный продукт, полученный кислотно-щелочным способом, отличается более высокой степенью полимеризации.

Была проведена оценка функционально-технологических свойств целлюлозных продуктов. Полученные результаты определения водоудерживающей способности (4,5–7,0 г/г прод., полученного пероксидным методом, и 4,5–5,0 г/г прод., полученного кислотно-щелочным методом) и жирудерживающей способности (3,0–4,0 г/г прод. и 3,0–3,5 г/г прод. соответственно) целлюлозных продуктов, свидетельствуют о возможности их применения в пищевой промышленности в качестве функциональных добавок.

Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности создания технологии переработки конопляной лузги в целлюлозные продукты с использованием недорогих и нетоксичных реактивов и стандартного оборудования при атмосферном давлении.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Disassembly of lignocellulose into cellulose, hemicellulose, and lignin for preparation of porous carbon materials with enhanced performances /

- S. Chen, Y. Xia, B. Zhang, H. Chen, G. Chen, S. Tang // *Journal of hazardous materials*. 2021. Vol. 408. 16 p. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124956>.
2. Soda pulping of torch ginger stem: promising source of nonwood-based cellulose / H.M. Zandrato, Y.S. Devi, N. Masruchin, N.J. Wistara // *Korean wood sci. technol*. 2021. Vol. 49 № 4. P. 287–298. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2021.49.4.287>.
3. Проблемы и достижения переработки растительного сырья / М.О. Шевчук [и др.] // *Вестник Полоцкого государственного университета*. 2017. № 11. С. 95–102.
4. Арсеньева, Д.Ю. Закономерности процесса перекисидно-ацетатной делигнификации недревесного целлюлозосодержащего сырья в присутствии серноокислотного катализатора / Д.Ю. Арсеньева, Я.В., Е.О. Окулова, А.Ю. Лагунов // *Лесной журнал*. 2019. № 3. С. 143–151. DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.143.
5. Павлов, И.Н. Гидротропная варка мискантуса для получения целлюлозы / И.Н. Павлов, А.А. Кухленко, Ю.В. Севастьянова // *Журнал Сибирского Федерального университета. Химия*. 2019. № 12 (4). С. 483–493. DOI: 10.17516/1998-2836-0144.
6. Utilization of non-wood biomass for pulp manufacturing in paper industry: case of Ethiopia / A. Halie, G. Gedino, T. Tesfaye, W. Mengie, M. Ayele, A. Abuhay, D. Yilie // *Biomass Conversion and Biorefinery*. 2021. 19 p. DOI:10.1007/s13399-021-01424-x.
7. Денисова, М.Н. Целлюлоза, полученная гидротропной делигнификацией недревесного сырья / М.Н. Денисова // *Материалы XIV молодежной конференции по органической химии (Екатеринбург, 10–14 мая 2011 г.)*. Екатеринбург. 2011. С. 92–95.
8. Non-wood fibers as raw material for pulp and paper industry / E.S. Abd El-Sayed [et al.] // *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. 2020. № 35(2). P. 215-230. DOI:10.1515/npprj-2019-0064.
9. Конопляные тенденции России и станет ли Урал столицей технической конопки [Электронный ресурс]. 2022. URL: <https://dzen.ru/media/id/5fb3bf9199d10c6caf2d4ab3/konopljanye-tendencii-rossii-i-stanet-li-ural-stolicej-tehnicheskoi-konoplki-62c833e1d060cb152cec9d42>.
10. Серков, В.А. История коноплеводства в России / В.А. Серков, А.А. Смирнов // *Масличные культуры. Научно-технический бюллетень Всероссийского научно-исследовательского института масличных культур*. 2018. Вып. 3 (175). С. 132–141. DOI: 25230/2412-608X-2018-3-175-132-141.
11. Волкова, А.В. Применение лузги семян конопки в разных отраслях промышленности / А.В. Волкова // *Инновационные направления научных исследований в земледелии и животноводстве как основа развития сельскохозяйственного производства : материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием и Всероссийской школы молодых ученых (Белгород, 24–25 июня 2021 г.)*. Белгород, 2021. С. 533–535.
12. Левчук, А.А. Модификация свойств лигноцеллюлозных отходов растениеводства / А.А. Левчук, И.Д. Рашид // *Научные труды КубГТУ*. 2015. № 5. С. 1–24.
13. Попов, Н.А. Организационно-экономические аспекты использования отходов производства масложировой отрасли / Н.А. Попов // *Вестник Полоцкого государственного университета*. Серия D. 2016. С. 64–67.
14. Картушина, Ю.Н. Перспективы использования отходов маслоэкстракционного производства (лузги подсолнечника) с целью получения меланинов / Ю.Н. Картушина, Н.В. Грачева, М.А. Данилова // *Всероссийская научно-практическая конференция молодых ученых, аспирантов и студентов «Экология и безопасность в техносфере: современные проблемы и пути решения»*. 2014. С. 90–93.
15. Азотсодержащее органическое удобрение на основе подсолнечной лузги / М.В. Ефанов [и др.] // *Химия растительного сырья*. 2002. № 2. С. 47–51.
16. Kumar, A. Delignified wood from understanding the hierarchically aligned cellulosic structures to creating novel functional materials: a review / A. Kumar, T. Juske, M. Petric // *Adv. Sustainable Syst*. 2021. № 5. 45 p. DOI: 10.1002/adsu.202000251.
17. Будаева, В.В. Получение лигноцеллюлозных материалов из недревесного сырья и исследование их в качестве субстратов ферментативного гидролиза / В.В. Будаева, Е.А. Скиба, Е.И. Макарова // *Ползуновский вестник*. 2013. №1. С. 215–219.
18. Будаева, В.В. Физико-химические свойства целлюлозы из соломы льна-межеумка / В.В. Будаева [и др.] // *Ползуновский вестник. Химия и переработка растительного сырья*. 2013. № 3. С. 168–172.
19. Гисматулина, Ю.А. Азотнокислый способ получения целлюлозы (обзор) / Ю.А. Гисматулина, В.В. Будаева // *Ползуновский вестник*. 2016. № 4. Т. 1. С. 174–178.
20. Пен, Р.З. Катализируемая делигнификация пшеничной соломы перуксусной кислотой // Р.З. Пен, И.Л. Шапиро, М.А. Коркина // *Национальная ассоциация ученых (НАУ)*. 2021. № 66. С. 46–50.
21. Технология получения целлюлозы из недревесного растительного сырья / А.В. Вураско [и др.] // *Химия растительного сырья*. 2010. № 2. С. 165–168.
22. Пен, Р.З. Пероксидная целлюлоза из пшеничной соломы / Р.З. Пен, И.Л. Шапиро, Н.В. Каретникова // *Химия растительного сырья*. 2022. № 2. С. 299–305. DOI: 10.14258/jcprtm.20220210688.
23. Горынцева, Н.Н. Изучение каталитической делигнификации древесины березы пероксидом водорода при атмосферном давлении / Н.Н. Горынцева, И.Г. Судакова, Б.Н. Кузнецов // *Журнал СФУ. Химия*. 2015. № 3. С. 422–429. DOI: 10.17516/1998-2836-2015-8-3-422-429.
24. Черкасова, Н.Г. Технология переработки отходов. Изучение химического состава растительных отходов. Методические указания для выполнения лабораторных работ / Н.Г. Черкасова.



Красноярск : Редакционно-издательский центр СибГУ. 2017. 21 с.

25. Методические указания к лабораторному практикуму по курсу «Химия и технология синтеза волокнообразующих полимеров» / сост. Т.Г. Шикова, З.Н. Жукова ; ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т. Иваново. 2007. 46 с.

26. Методы определения функциональных свойств соевых белковых препаратов / Н.В. Гурова [и др.] // Мясная индустрия. 2001. № 9. С. 30–32.

27. Синицын, А.П. Биоконверсия возобновляемой растительной биомассы на примере биотоплива второго поколения: сырье, предобработка, ферменты, процессы, экономика / А.П. Синицын, О.А. Синицына // Успехи биологической химии. 2021. Т. 61. С. 347–414.

28. Щербакова, Т.П. Сравнительное изучение образцов порошковой и микрокристаллической целлюлозы различного природного происхождения. Физико-химические характеристики / Т.П. Щербакова, Н.Е. Котельникова, Ю.В. Быховцева // Химия растительного сырья. 2011. № 3. С. 33–42.

### Информация об авторах

Л. А. Зайцева – младший научный сотрудник лаборатории "Молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции" ФГБНУ Федерального научного центра лубяных культур.

А. В. Волкова – младший научный сотрудник лаборатории "Молекулярно-генетических исследований и клеточной селекции" ФГБНУ Федерального научного центра лубяных культур.

И. Э. Миневич – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории Переработки лубяных культур ФГБНУ Федерального научного центра лубяных культур.

### REFERENCES

- Chen, S., Xia, Y., Zhang, B., Chen, H., Chen, G. & Tang, S. (2021). Disassembly of lignocellulose into cellulose, hemicellulose, and lignin for preparation of porous carbon materials with enhanced performances. *Journal of hazardous materials*. (408). P. 16. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.124956>.
- Zendrato, H.M., Devi, Y.S., Masruchin, N. & Wistara, N.J. (2021). Soda pulping of torch ginger stem: promising source of nonwood-based cellulose. *Korean wood sci. technol.* 49 (4). 287-298. <https://doi.org/10.5658/WOOD.2021.49.4.287>.
- Shevchuk, M.O., Bezborodov, V.S., Shishakov, E.P., Zilbergleit, M.A., Yakubovsky, S.F. (2017). Problems and achievements of vegetable raw materials processing. *Bulletin of Polotsk State University*. (11). 95-102. (In Russ).
- Arsenyeva, D.Yu., Kazakov, Ya.V., Okulova, E.O., Lagunov, A.Yu. (2019). Patterns of the process of peroxide-acetate delignification of non-wood

cellulose-containing raw materials in the presence of a sulfuric acid catalyst. *Forest journal*. (3). 143-151. (In Russ). DOI: 10.17238/issn0536-1036.2019.3.143.

5. Pavlov, I.N., Kuhlenco, A.A. & Sevastianova, I.U.V. (2019). Hydrotropic cooking of miscanthus to produce cellulose. *Journal of the Siberian Federal University. Chemistry*.12 (4). 483-493. (In Russ). DOI: 10.17516/1998-2836-0144.

6. Halie, A., Gedino, G., Tesfaye, T., Mengie, W., Ayele, M., Abuhay, A. & Yilie, D. (2021). Utilization of non-wood biomass for pulp manufacturing in paper industry: case of Ethiopia. *Biomass Conversion and Biorefinery*. P. 19. DOI:10.1007/s13399-021-01424-x.

7. Denisova, M.N. (2011). Cellulose obtained by hydrotopic delignification of non-wood raw materials. *Materials of the XIV Youth Conference on Organic Chemistry (Ekaterinburg, May 10-14, 2011)*. 92-95. (In Russ).

8. E.S. Abd El-Sayed et al. (2020). Non-wood fibers as raw material for pulp and paper industry. *Nordic Pulp & Paper Research Journal*. 35(2). 215-230. DOI:10.1515/nppj-2019-0064.

9. Hemp trends in Russia and will the Urals become the capital of technical hemp. (2022). [Electronic resource]. URL:<https://dzen.ru/media/id/5fb3bf9199d10c6caf2d4ab3/konoplanye-tendencii-rossii-i-stanet-li-ural-stolicej-tehnicheskoi-konopl-62c833e1d060cb152cec9d42>. (In Russ).

10. Serkov, V.A., Smirnov A.A. (2018). History of hemp growing in Russia. Oil crops. *Scientific and technical bulletin of the All-Russian Research Institute of Oilseeds*. 3 (175). 132-141. (In Russ). DOI: 25230/2412-608X-2018-3-175-132-141.

11. Volkova, A.V. (2021). The use of hemp seed husks in various industries. *Innovative areas of scientific research in agriculture and animal husbandry as the basis for the development of agricultural production: materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation and the All-Russian School of Young Scientists*. 533-535. (In Russ).

12. Levchuk, A.A., Rashid, I.D. (2015). Modification of the properties of lignocellulosic crop waste. *Scientific works of KubGTU*. (5). 1-24. (In Russ).

13. Popov, N.A. (2016). Organizational and economic aspects of the use of production waste from the oil and fat industry. *Bulletin of Polotsk State University*. 64-67. (In Russ).

14. Kartushina, Yu.N., Gracheva, N.V., Danilova, M.A. (2014). Prospects for the use of oil extraction waste (sunflower husks) in order to obtain melanins. *All-Russian scientific and practical conference of young scientists, graduate students and students "Ecology and safety in the technosphere: modern problems and solutions"*. 90-93. (In Russ).

15. Efanov, M.V., Dudkin, D.V., Galochkin, A.I., Schott, P.R. (2002). Nitrogen-containing organic fertilizer based on sunflower husks. *Chemistry of plant raw materials*. (2). 47-51. (In Russ).

16. Kumar, A., Juske, T. & Petric, M. (2021). Delignified wood from understanding the hierarchically aligned cellulosic structures to creating novel functional materials: a review. *Adv. Sustainable Syst*. (5). P. 45. DOI: 10.1002/adsu.202000251.

17. Budaeva, V.V., Skiba, E.A. & Makarova, E.I. (2013). Obtaining lignocellulose materials from non-wood raw materials and studying them as substrates of enzymatic hydrolysis. *Polzunovskiy vestnik. Chemistry and processing of plant raw materials*. (3). 215-219. (In Russ).
18. Budaeva, V.V. [et al]. (2013). Physico-chemical properties of cellulose from flax straw-mezheumka. *Polzunovskiy vestnik. Chemistry and processing of plant raw materials*. (3). 168-172. (In Russ).
19. Gismatulina, I.U.A. & Budaeva, V.V. (2016). Nitric acid method of cellulose production (review). *Polzunovskiy vestnik*. 1(4). 174-178. (In Russ).
20. Pen, R.Z., Shapiro, I.L. & Korkina, M.A. (2021). Delignification of the wheat straw by peracetic acid with catalytic agents use. *Advances in biological chemistry*. (66). 46-50. (In Russ).
21. Vurasko, A.V. [et al]. (2010). Technology for the production of cellulose from non-wood vegetable raw materials. *Chemistry of plant raw materials*. (2). 165-168. (In Russ).
22. Pen, R.Z., Shapiro, I.L. & Karetnikova, N.V. (2022). Peroxide cellulose from wheat straw. *Chemistry of plant raw materials*. (2). 299-305. (In Russ). DOI: 10.14258/jcprm.20220210688.
23. Goryntseva, N.N., Sudakova, I.G. & Kuznetsov, B.N. (2015). Study of catalytic delignification of birch wood with hydrogen peroxide at atmospheric pressure. *Journal of the Siberian Federal University. Chemistry*. (3). 422-429. (In Russ). DOI: 10.17516/1998-2836-2015-8-3-422-429.
24. Cherkasova, N.G. (2017). Waste recycling technology. Study of the chemical composition of plant waste. Guidelines for performing laboratory work. Krasnoyarsk: *Editorial and Publishing Center of the Siberian State University*. P. 21. (In Russ).
25. Shikova, T.G. & Zhukova, Z.N. (2007). Guidelines for the laboratory workshop on the course "Chemistry and technology of synthesis of fiber-forming polymers". *Ivanovo State University of Chemical Technology*. P. 46. (In Russ).
26. Gurova, N.V. [et al]. (2001). Methods for determining the functional properties of soy protein preparations. *Meat industry*. (9). 30-32. (In Russ).
27. Sinitsyn, A.P. & Sinitsyna, O.A. (2021). Bio-conversion of renewable plant biomass on the example of biofuels. *Advances in biological chemistry*. (61). 347-414. (In Russ).
28. Shcherbakova, T.P., Kotelnikova, N.E. & Bykhovtseva, I.U.V. (2011). Comparative study of samples of powdered and microcrystalline cellulose of various natural origin. Physical and chemical characteristics. *Chemistry of plant raw materials*. (3). 33-42. (In Russ.).

#### Information about the authors

*L.A. Zaitseva - Junior researcher at the Laboratory of "Molecular Genetic Research and Cell Selection" of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops.*

*A.V. Volkova - Junior researcher at the Laboratory of "Molecular Genetic Research and Cell Selection" of the Federal Research Center for Bast Fiber Crops.*

*I.E. Minevich - Doctor of Technical Sciences, Leading researcher at the Laboratory of Processing of Bast Crops of the Federal Scientific Center of Bast Fiber Crops.*

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*The authors declare that there is no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 12.01.2023; одобрена после рецензирования 13.05.2023; принята к публикации 11.06.2023.*

*The article was received by the editorial board on 12 Jan 2022; approved after editing on 13 May 2023; accepted for publication on 11 June 2023.*