

3. Кикоин, А.К. Молекулярная физика: учеб. пособ. / А.К. Кикоин, И.К. Кикоин. М.: Наука, 1976. 480 с.
4. Фляте, Д.М. Свойства бумаги/Д.М. Фляте. М.: Лесная промышленность, 1970. 456с.

---

УДК 676.16.022.6.034

### ОСОБЕННОСТИ ПОЛУЧЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ КОСТРЫ ЛЬНА МЕТОДОМ ПЕРОКСИДНО-АЦЕТАТНОЙ ВАРКИ

**Арсеньева Дарья Юрьевна,**  
аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск; E-mail: [darsenieva@mail.ru](mailto:darsenieva@mail.ru)

**Казаков Яков Владимирович,**  
д-р техн. наук, доцент,  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru)

**Окулова Елена Олеговна,**  
аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск, E-mail: [e.okulova@narfu.ru](mailto:e.okulova@narfu.ru)

***Ключевые слова:** льняная целлюлоза, пероксидно-ацетатный метод, надуксусная кислота, костра льна, переработка отходов.*

***Аннотация.** В работе рассмотрен метод получения целлюлозы пероксидно-ацетатным способом из костры льна. Экспериментальным способом в лабораторных условиях были получены образцы льняной целлюлозы. Была изучена зависимость влияния катализатора на качественные характеристики целлюлозы. Представлены результаты микроскопического исследования образцов льняной целлюлозы.*

### FEATURES OF CELLULOSE OBTAINING FROM FLAX STRAW BY PEROXIDE ACETATE COOKING

**Arsenyeva Darya Yurevna,**  
post-graduate student, Northern (Arctic) Federal University  
named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, E-mail: [darsenieva@mail.ru](mailto:darsenieva@mail.ru)

**Kazakov Yakov Vladimirovich,**  
holder of an Advanced Doctorate in Engineering Sciences, Associate Professor,  
Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov,  
Arkhangelsk, E-mail: [j.kazakov@narfu.ru](mailto:j.kazakov@narfu.ru)

**Okulova Elena Olegovna,**  
post-graduate student, Northern (Arctic) Federal University  
named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, E-mail: [e.okulova@narfu.ru](mailto:e.okulova@narfu.ru)

***Key words:** linseed cellulose, peroxide-acetate method, peracetic acid, flax straw, waste processing.*

***Abstract.** The paper considers a method for obtaining cellulose by peroxide-acetate method from flax bonfire. Samples of linseed cellulose were obtained experimentally under laboratory conditions. The dependence of the influence of the catalyst on the qualitative characteristics of cellulose was studied. The results of a microscopic examination of samples of linseed cellulose are obtained.*

Среди известных альтернативных источников получения целлюлозы применение недревесного растительного сырья считается наиболее перспективным. В настоящее время проведен ряд исследований, в которых рассмотрены различные методики получения целлюлозы из недревесного растительного сырья [1-4]. Анализ данных исследований позволил установить, что наиболее высокими показателями содержания целлюлозы обладают отходы льняного производства (костра, солома). Развитие льняного комплекса на территории Российской Федерации является одним из приоритетных направлений и имеет государственную поддержку, которая выражается в Федеральной целевой программе «Развитие льняного комплекса России на период до 2020 года».

Выбор пероксидно-ацетатного метода обусловлен тем, что в его основе лежит варка с использованием надуксусной кислоты (НУК) –  $\text{CH}_3\text{COOOH}$ , компоненты которой легко разлагаются на воду, кислород и уксусную кислоту и не являются особо опасными для окружающей среды [5]. Данный метод, к тому же, сразу обеспечивает и делигнификацию сырья, и отбелку волокна. Предварительные опыты показали перспективность этого способа для переработки соломы [6]. Вопросы переработки костры так же остаются актуальными.

В работе в качестве сырья использовалась костра льна с предприятия ООО «Тверская АПК». Влажность исходного сырья составляла 8,78 %, зольность 4,16 %.

Для стабилизации варочного раствора применялся препарат «Криодез» (ГК «Технология чистоты»), который обеспечивает стабильность НУК – 15 %.

В полученных образцах льняной целлюлозы определены характеристики: число Каппа целлюлозы по методу микро-Каппа; зольность, белизна, содержание  $\alpha$ -целлюлозы по стандартным методикам, средняя длина волокна и фракционный состав на автоматическом анализаторе волокна L&W FiberTester. Также выполнены микроскопические исследования.

Варка проводилась в лабораторных условиях, в стеклянной термостатированной трехгорлой колбе на масляной бане, снабженной обратным холодильником и мешалкой. Для изучения свойств полученных образцов процесс делигнификации проводили при следующих параметрах варки (табл. 1).

Таблица 1

Параметры проведения лабораторных варок

№ варки	Общий объем варочного раствора $V$ , мл	из них		Катализатор конц. $\text{H}_2\text{SO}_4$ , мл	Навеска сырья (костра), г	Продолжительность реакции, мин.	Температура варки, $t$ , °C
		НУК, мл	$\text{H}_2\text{O}$ , мл				
1	300	300	–	2,0	40	45	90...100
2	300	200	100	4,0	40	85	90...100
3	250	167	83	2,5	40	100	90...100
4	200	133	66	2,0	40	135	90...100

Первая варка проводилась в чистом растворе НУК без разбавления водой. Во 2, 3, 4 варках варочный раствор имел соотношение НУК 2:1. Объем катализатора (концентрированной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) составлял 2 % от объема варочного раствора. Продолжительность варки варьировалась в зависимости от степени готовности целлюлозной массы.

По окончании варки целлюлоза выкладывалась на фильтровальную бумагу, промывалась дистиллированной водой несколько раз на воронке Бюхнера и откачивалась жидкость под вакуумом при помощи колбы Бунзена.

В представленном эксперименте выполнены исследования по влиянию жидкостного модуля и расхода НУК на варку. Эксперимент показал, что при снижении гидромодуля (объема варочного раствора) и расхода НУК требуется увеличение продолжительности варки. Разбавление варочного раствора водой влечет за собой ограничение температурного диапа-

зона, поскольку при повышении температуры выше 100...110°C может происходить закипание раствора. Результаты анализа полученной целлюлозы представлены в табл. 2.

Таблица 2

Свойства целлюлозы из костры льна

Образец	Химические свойства				Структурно-морфологические свойства		
	Зольность, %	Число Каппа	Белизна, %	$\alpha$ -целлюлоза %	Средняя длина, мм	Средняя ширина, мкм	Грубость, дг
1	0,57	2,20	78,2	93,9	0,239	21,4	76,3
2	1,51	3,13	74,8	83,6	0,228	20,6	48,7
3	0,88	6,06	72,4	92,2	0,293	20,5	52,4
4	0,76	5,61	68,5	87,1	0,313	21,1	59,8

Полученная целлюлоза имеет достаточно высокую белизну, 68,5...78,2 %, которая повышается с увеличением гидромодуля. Зольность целлюлозы в 3...4 раза меньше, чем исходного сырья и составляет величину в большинстве случаев менее 1 %. Высокий гидромодуль также способствует снижению зольности полуфабриката. То есть зольные элементы, в большинстве своем, растворяются в варочном растворе и выводятся из волокна.

Из приведенных в таблице данных видно, что при снижении объема варочного раствора увеличивается показатели Микро Каппа и соответственно, содержание лигнина. При этом увеличение продолжительности варки не компенсирует полностью снижение расхода НУК на варку. При числе каппа в диапазоне 2,2...6,16. Расчетное содержание лигнина в образцах составит 0,03...0,09 %, то есть можно говорить об остаточном лигнине, повышение содержания которого, в свою очередь, приводит к закономерному снижению белизны.

Отличительной особенностью целлюлозы из костры льна методом пероксидно-ацетатной варки является высокое содержание  $\alpha$ -целлюлозы, которое составляет до 94 %.

Для оценки возможности использования полученного волокна в композиции бумаги и картона, у образцов были определены структурно-морфологические свойства на автоматическом анализаторе волокна L&W FiberTester.

Средняя длина волокон целлюлозы составляет 0,23...0,31 мм (табл. 2). При снижении объема варочного раствора наблюдается небольшое возрастание средней длины волокна. Средняя ширина волокна остается практически неизменной и в среднем составляет 20,1 мкм.

Фракционный состав по длине волокна образцов целлюлозы из костры льна представлен на рис.1. Большую часть волокон составляют очень короткие волокна с длиной до 0,3 мм. Такая длина волокна, характерная для волокна из соломы, является слишком малой для самостоятельного использования этого волокна в технологии бумаги. Однако, как добавку в композиции ее вполне можно использовать.

Результаты микроскопических исследований полученной целлюлозы представлены на рис. 2. Для исследований применяли Исследовательский моторизованный микроскоп высокого разрешения для исследования целлюлозы и бумаги. ImagerZ2m Carl Zeiss. Анатомические элементы целлюлозы из льняной костры представляют собой короткие волокна, с низким соотношением длина : ширина.

Из фотографий видно, что волокна полученной целлюлозы имеют ряд отличий от волокон из древесины, и даже в неразмолотом состоянии, содержат обрывки волокон, образовавшихся, по всей видимости, при перемешивании волокнистой массы мешалкой в процессе варки.

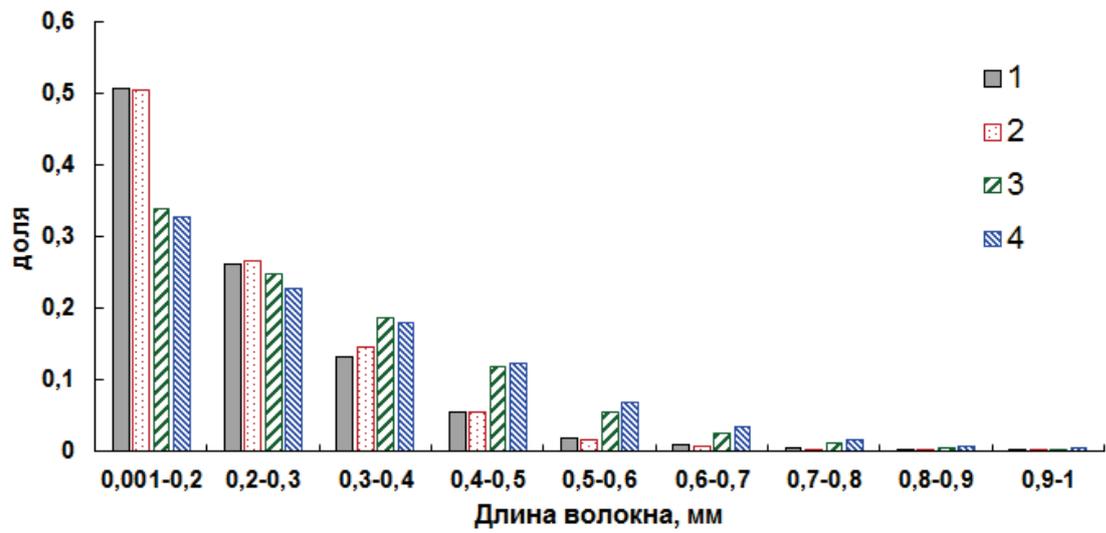


Рис. 1. Фракционный состав по длине волокна образцов целлюлозы из костры льна

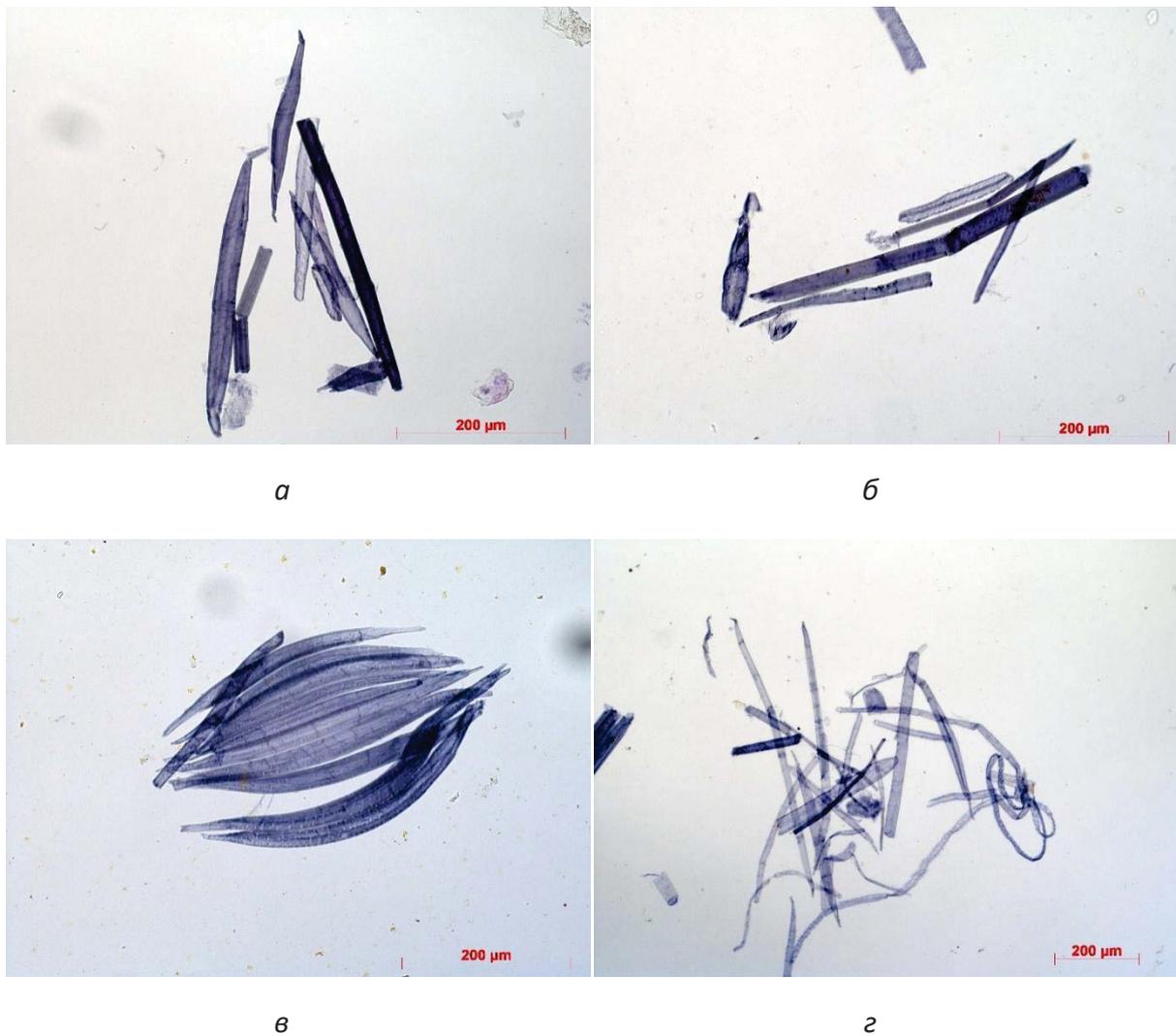


Рис. 2. Микрофотографии образцов целлюлозы из костры льна:  
*а* – образец номер 1; *б* – номер 2; *в* – номер 3; *г* – номер 4

Проведенный эксперимент по исследованию влияния условий варки показал, что для использования полученного волокна для химической переработки следует увеличивать жидкостный модуль и расход НУК, а для использования в композиции бумаги – наоборот, снижать.

В настоящее время отходы льняного производства в виде соломы и костры в большинстве случаев сжигается, не находя оптимального применения. Поэтому исследования технологии получения и свойств волокнистых материалов из этого сырья помогают найти пути решения проблемы переработки отходов льняного производства. Вместе с тем, исследования в области поиска альтернативного вида сырья позволяют расширить сырьевой потенциал для получения целлюлозного волокна различного назначения.

## Список литературы

1. 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, № 3, 2013, С.168–173.
2. Дейкун І.М., Пойда В.В., Барбаш В.А. Одержання целюлози із соломи ріпаку окисно-органосольвентним способом делігніфікації. // Наукові вісті НТУУ «КПІ». 2010. № 2. С.148.
3. Гисматулина Ю.А. Химический состав перспективного недревесного сырья – мискантуса и соломы льна межеумка // Фундаментальные исследования. 2016. № 4 (часть 2). С. 249–252.
4. Мертин Э.В. Получение целлюлозы щелочно-окислительно-органосоль-вентным способом с применением озона. Дисс. ... к.т.н. /05.21.03. Екатеринбург, 2013. 153 с.
5. Глазова Н.В., Сатина О.И. НУК: экологически безопасная альтернатива хлору // Птица и птицепродукты, 2010, №1, С. 58–60.
6. Арсеньева Д.Ю., Казаков Я.В. Бумагообразующие свойства волокна, полученного из соломы льна пероксидно-ацетатным методом / В сб. «Проблемы механики целлюлозно-бумажных материалов»: матер. IV Междунар. науч.-техн. конф. (Архангельск, 14–16 сентября 2017 г.) // Сев. (Арктич.) федер. ун-т им. М.В. Ломоносова. Архангельск: САФУ, 2017. С.303–307.

---

УДК 628.161\*3(470.11)

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА КОАГУЛЯЦИИ В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

**Бойкова Татьяна Евгеньевна,**  
аспирант, ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск; E-mail: [t.boykova@narfu.ru](mailto:t.boykova@narfu.ru)

**Богданович Николай Иванович,**  
д-р техн. наук, профессор,  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Архангельск; E-mail: [n.bogdanovich@narfu.ru](mailto:n.bogdanovich@narfu.ru)

**Мауричева Татьяна Станиславовна,**  
канд. геол.-мин. наук, заведующая кафедрой,  
ФГАОУ ВО «Северный (Арктический) федеральный университет  
имени М.В. Ломоносова», г. Северодвинск, e-mail: [t.mauricheva@narfu.ru](mailto:t.mauricheva@narfu.ru)

*Ключевые слова:* коагуляция, полиоксихлорид алюминия, водоподготовка, уравнения регрессии, гуминовые кислоты, обесцвечивание.