

УДК 666.022.34

ОТЕЧЕСТВЕННОЕ ЦЕЛЛЮЛОЗНОЕ ВОЛОКНО – ПЕРСПЕКТИВНОЕ СЫРЬЕ ДЛЯ РОССИЙСКОЙ ТЕКСТИЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

© Н.С. Дымникова*, Е.В. Ерохина

Институт химии растворов им. Г.А. Крестова РАН, ул. Академическая, 1,
Иваново, 153045, Россия, nsd@isc-ras.ru

Статья посвящена перспективному источнику целлюлозного волокнистого сырья в России – конопляному волокну, которое по количественным и качественным показателям способно эффективно конкурировать с аналогичной европейской продукцией. Однако грубость и жесткость волокон конопли ограничивают их применение только областью технического текстиля. Решение этой проблемы лежит в разработке способов модификации их лубяных пучков и получения хлопко- или шерстеподобного волокна. В работе проведено изучение влияния условий механохимической обработки (температура, концентрация химических реагентов) разных сортов конопляного (пенькового) волокна на удаление его природных примесей (пектиновых соединений, гемицеллюлозы и лигнина). Показано, что для конопляного волокна необходимым условием более полного разрушения лубяных пучков и очистки волокна от примесей является присутствие в модифицирующих растворах специально подобранных реагентов селективного действия (восстановителей), которые в композиции с гидроксидом натрия обеспечивают синергический эффект растворения. Экспериментально доказано, что введение восстановителя (сульфида натрия) значительно ускоряет процесс делигнификации, обеспечивая более глубокое расщепление комплексных волокон и приближение их характеристик к хлопкоподобным стандартам. Проведено сравнение с аналогичной обработкой льняного волокна.

Ключевые слова: конопляное (пеньковое) волокно, льняное волокно, природные примеси, щелочной агент, восстановитель.

Для цитирования: Дымникова Н.С., Ерохина Е.В. Отечественное целлюлозное волокно – перспективное сырье для российской текстильной промышленности // Химия растительного сырья. 2025. №4. С. 399–406. <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250417261>.

Введение

Потребность российских предприятий в целлюлозном волокне оценивается порядка 70 тыс. т. Ни для кого не секрет, что полная зависимость легкой промышленности России от импорта, в частности, хлопка, имеет печальные последствия. Тем более что отмечено резкое падение импорта сырья для текстильной промышленности РФ. Это связано и с санкциями, и с изменением климата: засуха либо, наоборот, наводнения.

В этих условиях особое внимание нужно обратить на два других, исконно российских, вида целлюлозного волокнистого сырья – льняное и пеньковое (конопляное). Однако успешным развитие производства льна и конопли может стать только при условии применения инновационных технологий. В Институте химии растворов им. Г.А. Крестова РАН предложен целый комплекс технологий глубокой переработки льняного волокна, который позволяет получать функционализированных различным образом хлопкоподобных льняных волокон для получения на их основе изделий текстильного, технического, оборонного, медицинского и санитарно-гигиенического назначения [1–5]. Эти технологии не уступают мировым аналогам и уже проверены в промышленных условиях на российских предприятиях. Это механически очищенное короткое льноволокно, в том числе с огне-, био- и огнебиозащитными свойствами, объемные утеплители на его основе; технические льносодержащие ткани и нетканые материалы с мультифункциональными защитными свойствами; высокосорбционное отбеленное льноволокно, медицинская вата и перевязочные материалы (в том числе, с антимикробными и лечебными свойствами); механохимически модифицированное волокно природного серого цвета или окрашенное для смесовой пряжи на его основе с добавками хлопкового,

* Автор, с которым следует вести переписку.

полиэфирного, вискозного или шерстяного волокна. Все вышеуказанные технологии прошли успешные опытно-промышленные испытания и частично внедрены в производство. Несколько видов продуктов новой продукции сертифицированы.

Другим перспективным источником целлюлозного волокнистого сырья в России может стать конопляное волокно. Следует отметить, что выращиваемые в России сорта технической конопли по количественным и качественным показателям способны эффективно конкурировать с аналогичной европейской продукцией.

Современные сорта технической конопли, содержащие менее 0.3% тетрагидроканнабинола, легализованы во многих странах, что возрождает интерес к ее применению.

Интерес к конопле возобновился и из-за ее значительных преимуществ в экологичности [6–9]. Научные исследования демонстрируют несколько ключевых преимуществ волокна конопли для дальнейшей переработки: оно обладает более быстрым циклом роста, созревая всего за 3–4 месяца [10] при урожайности от 12–15 тонн высущенной на воздухе массы с гектара, а при оптимальных условиях может превышать 20 тонн [11], что делает его сопоставимым или даже превосходящим другие сельскохозяйственные лубяные культуры (так, в сравнении со льном урожайность конопли примерно в три раза выше) [12].

Однако грубость и жесткость волокон конопли до последнего времени ограничивали их применение только областью технического текстиля. Весьма перспективным и экономически выгодным представляется решение проблемы жесткости конопляных волокон путем модификации их лубяных пучков и получения хлопко- или шерстеподобного волокна. Возможность получения из конопли натурального текстильного сырья, альтернативного хлопку и шерсти, с помощью химической модификации открывает перспективы для разработки технологических процессов его модификации на современном уровне.

Следует отметить, что несмотря на определенную схожесть в происхождении, лубяные волокна отличаются друг от друга как по морфологической структуре, так и по химическому составу [13, 14]. Такие различия должны влиять на их поведение при механических, химических и физико-химических воздействиях и определять свойства получаемого конечного продукта – модифицированного волокна, адаптированного к условиям технологических процессов переработки хлопка, шерсти, химических волокон. В связи с этим разработка технологических процессов модификации должна строиться с учетом индивидуальных особенностей волокон и поведения их под действием механических, химических и физико-химических воздействий.

В данной работе изучены условия механохимической обработки (температура, концентрация химических реагентов) разных сортов конопляного волокна, проведена сравнительная оценка полученных результатов с аналогичной обработкой льняного волокна.

Экспериментальная часть

В качестве лубяных волокон использовали: коноплю (пеньку) промышленных сортов однодомной конопли «Диана» (среднерусский экотип), выращенную в фермерском хозяйстве Симанчино (Пензенская обл.), «ЮСО», полученную в хозяйстве Ивановской обл., и короткое льноволокно номер 3, полученное со льноперерабатывающего завода Омской области «Знаменский лен».

Определение количества остаточной щелочи в растворе при химической модификации лубяных волокон проводили путем кислотно-основного титрования по методике, указанной в [15].

Содержание лигнина в волокне определяли сернокислотным методом согласно ГОСТ 11960-79. Содержание пектиновых веществ определяли весовым методом [13], гемицеллюлоз – согласно методике, описанной в [16].

Обсуждение результатов

Механическая обработка является необходимой частью технологического процесса модификации лубяных волокон и выполняет ряд важных функций: очистку волокна от механических неволокнистых примесей (костры), частичное дробление комплексных волокон в продольном направлении и укорочение их. Для выработки правильного подхода к построению технологического процесса модификации исследуемых волокон необходимо выявить особенности их структуры и специфику ее изменения в процессе механической обработки.

На микрофотографиях, полученных с помощью цифрового микроскопа «МИКРОМЕД 1» с увеличением 1:400, представлены нативные комплексные волокна конопли сорта Диана и ЮСО (рис. 1). Их основные характеристики приведены в таблице 1.

На фото четко видны места скрепления элементарных волокон, по которым при разрушении срединных пластинок под действием механических или химических воздействий может происходить распад на тонкие комплексы и элементарные волокна. Это дает основания полагать, что конопляное волокно, по аналогии с льняным, под действием механических и химических обработок может проявлять определенную способность к дроблению.

Способность лубяных волокон к дроблению подтвердилась уже на первой стадии процесса модификации – очистке от механических примесей (костры), осуществляющейся на оборудовании кардочесального типа (льночесальная машина Ч-600-Л).

В результате эксперимента установили, что льняное и конопляное волокна ведут себя аналогично при продольном разволокнении: их лубяные пучки распадаются на несколько более тонких комплексов с отслоением, в ряде случаев, элементарных волокон.

Технические характеристики волокон, прошедших операцию очистки и разволокнения, приведены в таблице 2.

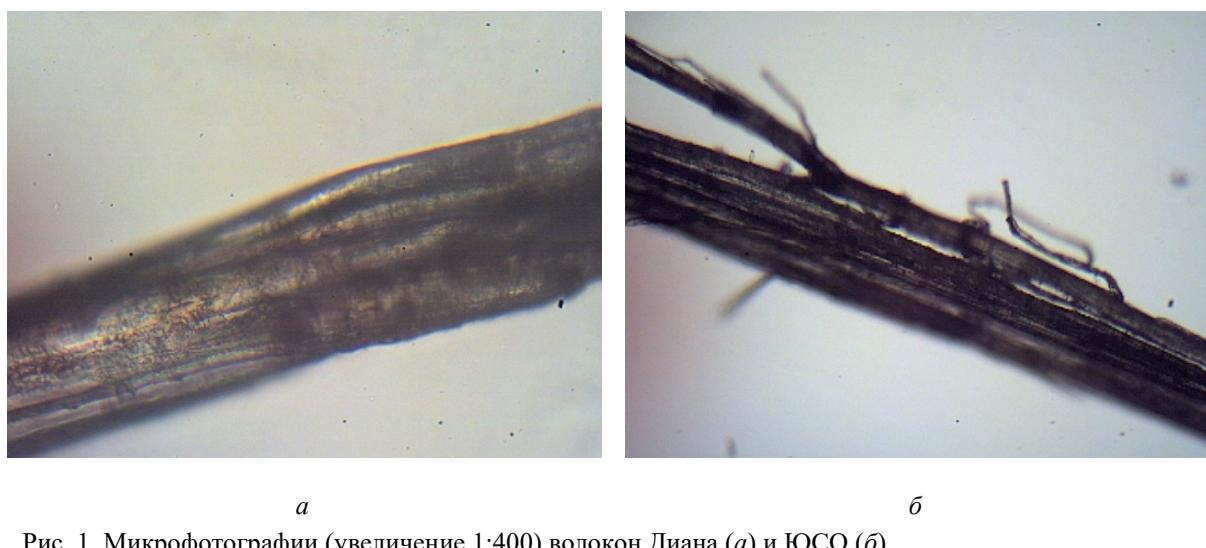


Рис. 1. Микрофотографии (увеличение 1:400) волокон Диана (*a*) и ЮСО (*b*)

Таблица 1. Технические характеристики лубяных волокон до механической обработки

Наименование показателей	Значения показателей		
	лен	конопля Диана	конопля ЮСО
Средняя длина, мм	98.6	114.8	116.0
Содержание костры, %	22	28	30
Линейная плотность, текс	4.3	6.7	7.0
Среднее количество элементарных волокон в лубяном пучке, шт	20–30	20–30	20–30

Таблица 2. Технические характеристики лубяных волокон, прошедших механическую очистку и разволокнение

Наименование показателей	Значения показателей	
	лен	конопля Диана
Средняя длина, мм	62.2	82.4
Линейная плотность комплексного волокна, текс	3.1	4.3
Содержание волокон (%) с длиной, мм:		
до 15.0	5.7	4.1
15.1–60.0	50.8	43.0
более 60.1	43.5	52.9
Среднее количество элементарных волокон в лубяном пучке, шт.	до 10	17–22
Содержание костры, %	9	11

При механической обработке средняя длина льняного и конопляного волокна уменьшается на 40 и 30% соответственно. Об этом свидетельствует их рассортировка по группам длин. Кроме того, их продольное расщепление приводит к снижению линейной плотности, соответственно, на 28 и 36%. Необходимо отметить – несмотря на то, что при обработке конопляного волокна прослеживается тенденция к его укорочению и продольному расщеплению, средние показатели длины и толщины полученного полуфабриката значительно превышают таковые у льняного волокна.

Низкая способность к элементаризации грубых лубяных волокон, несомненно, связана с особенностями химического состава срединных пластинок. Для эффективного разрушения последних, как показали проведенные исследования, механических воздействий недостаточно и основная роль при модификации таких волокон должна отводиться процессам химического воздействия на составляющие их компоненты.

Известно, что традиционно используемый карбонат натрия при химической модификации льноволокна проявляет меньшую химическую активность, чем гидроксид натрия [17–20]. Кроме того, учитывая большее, по сравнению с льняным волокном, содержание примесей в волокнах технического назначения, а также специфику их химического состава, можно сделать вывод, что карбонат натрия при их обработке будет неэффективен. Поэтому для разработки технологических процессов химической модификации в качестве щелочного реагента, позволяющего наиболее эффективно растворять основные примеси, следует рекомендовать гидроксид натрия.

Нами проведено исследование изменения содержания щелочного агента в растворе (табл. 3) в совокупности с изменением степени выхода в раствор основных примесей (табл. 4). Для сравнения приведены аналогичные сведения по льняному волокну.

Из таблицы 3 следует, что увеличение температуры обработки приводит к резкому снижению содержания гидроксида натрия в растворе в процессе обработки всех исследуемых волокон. Так, при концентрации щелочи 4 г/л и температуре обработки 40 °C остается ее в растворе 71–72.5%, а при температуре 100 °C – лишь 10% при обработке пеньковых волокон и 15% – льняного, т.е. практически вся щелочь сорбируется волокном и связывается примесями. При концентрации щелочи 10 г/л и температуре обработки 40 °C остается ее в растворе порядка 60%, а при температуре 100 °C – 20–29%. Дальнейшее увеличение концентрации щелочного агента даже в случае максимального повышения температуры обработки приводит к тому, что более половины гидроксида натрия остается в растворе, что нерационально как с экологической, так и с экономической точки зрения.

Насколько целесообразно увеличение концентрации щелочного агента в варочном растворе, можно судить по данным таблицы 4.

Значительная часть кислотонерастворимого лигнина Класона (48–60%) и пектиновых веществ (35–39%) в пеньковом волокне, даже при высокой концентрации щелочи, остаются в волокне, препятствуя растворению срединных пластинок и дроблению комплексного волокна.

Лигнин льняного волокна проявляет меньшую устойчивость к щелочному гидролизу и при обработке раствором щелочи 10 г/л льняное волокно теряет 64% лигнина, а пектиновые вещества даже при концентрации гидроксида натрия 6–10 г/л практически полностью переходят в экстракт. Напротив, гемицеллюлозы легче удаляются из конопли, но только при максимальной концентрации гидроксида натрия, в льняном же волокне их остается довольно много – около 30%.

Данные таблицы 4 доказывают, что использование только гидроксида натрия недостаточно для процесса делигнификации пенькового волокна.

В работах [2, 20], посвященных химической модификации короткого льняного волокна, было показано, что необходимым условием разрушения лубяных пучков и очистки волокна является присутствие в модифицирующих растворах специально подобранных реагентов селективного действия (восстановителей и комплексонов) по отношению к лигнину и пектинам срединных пластинок, которые в композиции с гидроксидом натрия обеспечивают синергический эффект растворения.

В условиях химической модификации в качестве активатора может быть использован сульфид натрия. Он является основным реагентом в целлюлозно-бумажном производстве при получении целлюлозы сульфатным способом. Его высокая делигнифицирующая активность была установлена при разработке технологических процессов облагораживания хлопчатобумажных тканей [20].

На рисунке 2 показана кинетика растворения лигнина и целлюлозной составляющей лубяных волокон под действием щелочных и щелочно-сульфидных растворов. Введение сульфида натрия значительно

ускоряет процесс делигнификации (кривые 1 и 2). На разрушение целлюлозы присутствие восстановителя не оказывает существенного влияния (кривые 3 и 4). Процесс делигнификации практически заканчивается через 2 ч обработки, дальнейшее увеличение его длительности малоэффективно.

Таблица 3. Изменение остаточного содержания щелочи в модифицирующих растворах в процессе обработки лубяных волокон

Начальная концентрация гидроксида натрия в растворе, г/л	Название волокна								
	Диана	ЮСО	льняное	Диана	ЮСО	льняное	Диана	ЮСО	льняное
	Temperatura обработки, °C								
	40			80			100		
Остаточное содержание щелочи в растворе, г/л									
4	2.84	2.86	2.90	1.52	1.53	1.66	0.40	0.41	0.60
6	3.20	3.30	3.33	2.65	2.70	2.80	0.80	0.80	1.22
10	5.90	5.90	5.96	5.0	5.05	5.28	2.0	2.02	2.90
15	9.20	9.25	9.20	8.80	8.78	8.76	5.60	5.62	5.60
20	15.1	15.3	16.0	12.5	12.3	14.0	10.80	10.80	11.0

Таблица 4. Изменение содержания основных примесей лубяных волокон после щелочных обработок (температура обработки 100 °C, время 60 мин)

Примеси	Концентрация гидроксида натрия, г/л	Остаточное содержание в волокне, % к абсолютно сухому волокну		
		Диана	ЮСО	льняное
Лигнин Класона	до обработки	7.0	6.6	5.5
	4	5.0	6.3	2.8
	6	4.8	5.0	2.6
	8	4.6	4.2	2.2
	10	4.2	4.0	2.0
Пектиновые вещества	до обработки	4.3	3.9	4.4
	4	3.5	3.1	1.3
	6	3.0	2.9	0.9
	8	2.2	2.0	0.5
	10	1.7	1.4	0.2
Гемицеллюлозы	до обработки	11.3	11.0	10.2
	4	5.9	5.0	5.9
	6	4.0	3.8	4.0
	8	2.8	2.5	3.2
	10	1.3	1.0	2.8

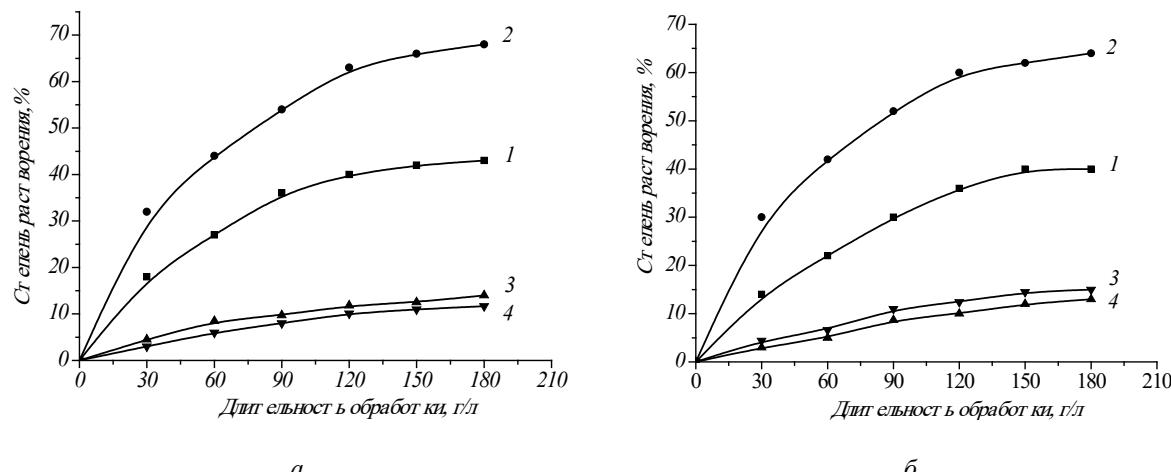


Рис. 2. Влияние сульфида натрия на процесс делигнификации (1, 2) и растворения целлюлозы (3, 4) волокна Диана (а) и ЮСО (б) волокон; 1, 4 – обработка без сульфида натрия, 2, 3 – обработка в присутствии сульфида натрия

Воздействие щелочно-сульфидных систем при модификации лубяных волокон обеспечивает разрушение соединительных тканей, объединяющих элементарные волокна в пучок, и вызывает достаточно глубокие трансформации в их природной структуре. Микрофотографии (рис. 3) показывают, что в результате химической обработки препаратов происходит дополнительное дробление и распад комплексов с образованием волокон, технические характеристики которых приближены к показателям, необходимым для совместной переработки с другими видами волокнистого сырья (линейная плотность – не более 3 текс, средняя длина – 40–50 мм).

Выявленные закономерности делигнификации и элементаризации конопляных волокон позволили разработать основные принципы построения технологической цепочки их механохимической модификации.

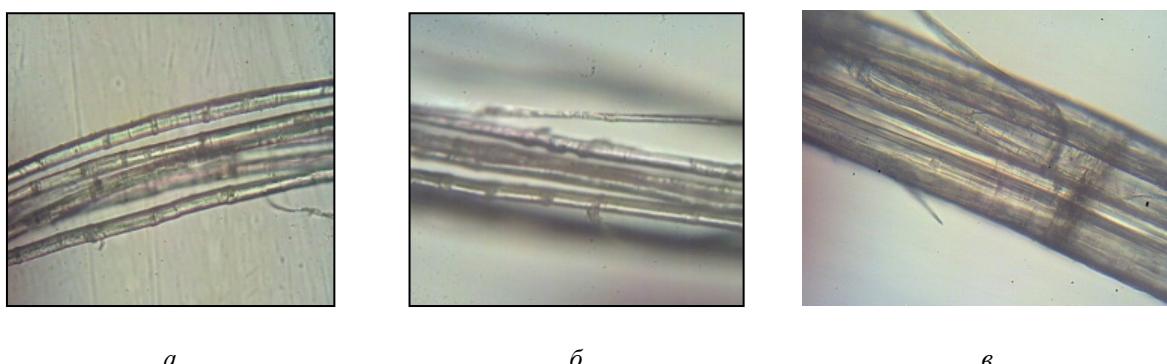


Рис. 3. Микрофотографии модифицированных лубяных волокон: *а* – льняного, *б* – пенькового сорта Диана и *в* – пенькового сорта ЮСО

Заключение

Проведенное исследование демонстрирует значительный потенциал использования отечественных лубяных волокон в текстильной промышленности России. Установлено, что механохимическая обработка с применением гидроксида натрия и сульфида натрия позволяет эффективно удалять природные примеси (лигнин, пектины, гемицеллюлозу). Введение восстановителя (сульфида натрия) значительно ускоряет процесс делигнификации, обеспечивая более глубокое расщепление комплексных волокон и приближение их характеристик к хлопкоподобным стандартам, что открывает перспективы его использования не только в техническом, но и в бытовом текстиле.

Благодарности

В работе использована приборная база Центра коллективного пользования научным оборудованием «Верхневолжский региональный центр физико-химических исследований».

Финансирование

Работа выполнена в рамках Государственного задания Института химии растворов им. Г.А. Крестова РАН (проект № 122040500050-5).

Конфликт интересов

Авторы данной работы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

Открытый доступ

Эта статья распространяется на условиях международной лицензии Creative Commons Attribution 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), которая разрешает неограниченное использование, распространение и воспроизведение на любом носителе при условии, что вы дадите соответствующие ссылки на автора(ов) и источник и предоставите ссылку на Лицензию Creative Commons и укажете, были ли внесены изменения.

Список литературы

1. Стокозенко В.Г., Морыганов А.П., Данилов А.Р. Разработка рациональной технологии механохимической модификации короткого льноволокна // Текстильная промышленность. 2008. №1. С. 4–7.
2. Коньков П.А., Морыганов А.П., Стокозенко В.Г., Захаров А.Г. Глубокая переработка льна в России: исторические аспекты и перспективы // Текстильная промышленность. 2010. №1. С. 36–41.
3. Галашина В.Н., Дымникова Н.С., Данилов А.Р. Морыганов А.П. Модифицированное льноволокно для медицинских изделий // Текстильная промышленность. 2011. №2. С. 52–56.

4. Dymnikova N.S., Erokhina E.V., Moryganov A.P. Bast Fibers: New Opportunities for Green Nanotechnology // Russian Journal of General Chemistry. 2021. Vol. 91. Pp. 1816–1825. <https://doi.org/10.1134/S1070363221090292>.
5. РБК: переработчики текстиля в России столкнулись с дефицитом сырья [Электронный ресурс]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/14668619>.
6. Cellulose Fiber Market Size, Share & Growth Report, 2030 - Grand View Research [Электронный ресурс]. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/cellulose-fibers-market>.
7. Глава РАН: выращивание конопли поможет РФ достичь углеродной нейтральности [Электронный ресурс]. URL: <https://www.bfm.ru/news/480667>.
8. Visković J. et al. Indus trial Hemp (*Cannabis sativa* L.) Agronomy and Utilization: A Review // Agronomy. 2023. Vol. 13, no. 3. Pp. 1–23. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030931>.
9. Камалова А.Р., Данилова Н.В., Курынцева П.А., Галицкая П.Ю., Селивановская С.Ю. Рост растений и функциональное разнообразие микробиоты почвы при выращивании технической конопли *Cannabis sativa* L. в модельном опыте в условиях повышенной температуры // Сельскохозяйственная биология. 2025. Т. 60, №1. С. 110–124. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2025.1.110rus>
10. Facts about Hemp. Cannabis Trades Association [Электронный ресурс]. URL: <https://www.cannabis-trades.org/pages/126-facts-about-hemp>.
11. Dr Saba E Amir. Hemp as a Biomass Crop [Электронный ресурс]. URL: <https://www.biomassconnect.org/technical-articles/hemp-as-a-biomass-crop/>.
12. Das L., Liu E., Saeed A., Williams D.W. Industrial hemp as a potential bioenergy crop in comparison with kenaf, switchgrass and biomass sorghum // Bioresource Technology. 2017. Vol. 244(1). Pp. 641–649. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.008>.
13. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы: учебное пособие для вузов. М., 1991. 320 с.
14. Лаврентьева Е.П., Санина О.К., Белоусов Р.О. Глубокая переработка лубяных волокон – путь к возрождению национальных традиций России // Технология текстильной промышленности. 2022. №3. С. 130–139. https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_3_130.
15. Отделка хлопчатобумажных тканей: справочник / под ред. Б.Н. Мельникова. Иваново, 2003. 484 с.
16. Аналитический контроль производства искусственных волокон. Справочное пособие / под ред. А.К. Дибровой, В.С. Матвеева. М., 1986. 136 с.
17. Садов Ф.И., Корчагин М.В., Матецкий А.И. Химическая технология волокнистых материалов. М., 1968. 784 с.
18. Фридлянд Г.И. Отделка льняных тканей. М., 1982. 430 с.
19. Кричевский Г.Е. Химическая технология текстильных материалов: в 3 т. М., 2000. Т. 1. 436 с.
20. Стокозенко В.Г. Теоретическое обоснование и разработка интенсифицированных процессов подготовки хлопчатобумажных тканей: дис. ... канд. техн. наук. Иваново, 1988. 208 с.

Поступила в редакцию 22 апреля 2025 г.

После переработки 21 мая 2025 г.

Принята к публикации 15 сентября 2025 г.

Dymnikova N.S.*, Erokhina E.V. DOMESTIC CELLULOSE FIBER – A PROMISING RAW MATERIAL FOR THE RUSSIAN TEXTILE INDUSTRY

G.A. Krestov Institute of Solution Chemistry of the Russian Academy of Sciences, st. Akademicheskaya, 1, Ivanovo, 153045, Russia, nsd@isc-ras.ru

The article is devoted to a promising source of cellulose fibrous raw materials in Russia - hemp fiber, which can effectively compete with similar European products in terms of quantitative and qualitative indicators. However, the coarseness and rigidity of hemp fibers limit their use only to the field of technical textiles. The solution to this problem lies in the development of methods for modifying their bast bundles and obtaining cotton- or wool-like fiber. The paper studies the effect of mechano-chemical treatment conditions (temperature, concentration of chemical reagents) of different grades of hemp fiber on the removal of its natural impurities (pectin compounds, hemicellulose and lignin). It is proven that the introduction of a reducing agent (sodium sulfide) significantly accelerates the delignification process, providing a deeper splitting of complex fibers and bringing their characteristics closer to cotton-like standards. A comparison with similar treatment of flax fiber is made.

Keywords: hemp fiber, flax fiber, natural impurities, alkaline agent, reducing agent.

For citing: Dymnikova N.S., Erokhina E.V. Khimiya Rastitel'nogo Syr'ya, 2025, no. 4, pp. 399–406. (in Russ.). <https://doi.org/10.14258/jcprm.20250417261>.

* Corresponding author.

References

1. Stokozenko V.G., Moryganov A.P., Danilov A.R. *Tekstil'naya promyshlennost'*, 2008, no. 1, pp. 4–7. (in Russ.).
2. Kon'kov P.A., Moryganov A.P., Stokozenko V.G., Zakharov A.G. *Tekstil'naya promyshlennost'*, 2010, no. 1, pp. 36–41. (in Russ.).
3. Galashina V.N., Dymnikova N.S., Danilov A.R. Moryganov A.P. *Tekstil'naya promyshlennost'*, 2011, no. 2, pp. 52–56. (in Russ.).
4. Dymnikova N.S., Erokhina E.V., Moryganov A.P. *Russian Journal of General Chemistry*, 2021, vol. 91, pp. 1816–1825. <https://doi.org/10.1134/S1070363221090292>.
5. RBK: pererabotchiki tekstilya v Rossii stolknulis's defitsitom syr'ya [RBC: Textile processors in Russia are facing a shortage of raw materials]. URL: <https://tass.ru/ekonomika/14668619>. (in Russ.).
6. *Cellulose Fiber Market Size, Share & Growth Report, 2030 – Grand View Research*. URL: <https://www.grandviewresearch.com/industry-analysis/cellulose-fibers-market>.
7. Glava RAN: vyrazchivaniye konopli pomozhet RF dostich' uglerodnoy neytral'nosti [Head of the Russian Academy of Sciences: Growing hemp will help Russia achieve carbon neutrality]. URL: <https://www.bfm.ru/news/480667>. (in Russ.).
8. Visković J. et al. *Agronomy*, 2023, vol. 13, no. 3, pp. 1–23. <https://doi.org/10.3390/agronomy13030931>.
9. Kamalova A.R., Danilova N.V., Kuryntseva P.A., Galitskaya P.Yu., Selivanovskaya S.Yu. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2025, vol. 60, no. 1, pp. 110–124. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2025.1.110rus>. (in Russ.).
10. *Facts about Hemp. Cannabis Trades Association*. URL: <https://www.cannabis-trades.org/pages/126-facts-about-hemp>.
11. Dr Saba E Amir. *Hemp as a Biomass Crop*. URL: <https://www.biomassconnect.org/technical-articles/hemp-as-a-biomass-crop/>.
12. Das L., Liu E., Saeed A., Williams D.W. *Bioresource Technology*, 2017, vol. 244(1), pp. 641–649. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.008>.
13. Obolenskaya A.V., Yel'nitskaya Z.P., Leonovich A.A. *Laboratornyye raboty po khimii drevesiny i tsellyulozy: uchebnoye posobiye dlya vuzov*. [Laboratory work on the chemistry of wood and cellulose: a textbook for universities]. Moscow, 1991, 320 p. (in Russ.).
14. Lavrent'yeva Ye.P., Sanina O.K., Belousov R.O. *Tekhnologiya tekstil'noy promyshlennosti*, 2022, no. 3, pp. 130–139. https://doi.org/10.47367/0021-3497_2022_3_130. (in Russ.).
15. *Otdelka khlopchatobumazhnykh tkaney: Spravochnik* [Finishing of cotton fabrics: Handbook], ed. B.N. Mel'nikov. Ivanovo, 2003, 484 p. (in Russ.).
16. *Analiticheskiy kontrol' proizvodstva iskusstvennykh volokon. Spravochnoye posobiye* [Analytical control of artificial fiber production. Reference manual], ed. A.K. Dibrova, V.S. Matveyev. Moscow, 1986, 136 p. (in Russ.).
17. Sadov F.I., Korchagin M.V., Matetskiy A.I. *Khimicheskaya tekhnologiya voloknistykh materialov*. [Chemical technology of fibrous materials]. Moscow, 1968, 784 p. (in Russ.).
18. Fridlyand G.I. *Otdelka l'nyanykh tkaney*. [Finishing of linen fabrics]. Moscow, 1982, 430 p. (in Russ.).
19. Krichevskiy G.Ye. *Khimicheskaya tekhnologiya tekstil'nykh materialov: V 3 t.* [Chemical technology of textile materials: In 3 volumes]. Moscow, 2000, vol. 1, 436 p. (in Russ.).
20. Stokozenko V.G. *Teoreticheskoye obosnovaniye i razrabotka intensifitsirovannykh protsessov podgotovki khlopchatobumazhnykh tkaney: dis. ... kand. tekhn. nauk*. [Theoretical substantiation and development of intensified processes for the preparation of cotton fabrics: diss. ... Cand. of Technical Sciences]. Ivanovo, 1988, 208 p. (in Russ.).

*Received April 22, 2025**Revised May 21, 2025**Accepted September 15, 2025***Сведения об авторах**

Дымникова Наталья Сергеевна – кандидат технических наук, научный сотрудник, nsd@isc-ras.ru
Ерохина Екатерина Вячеславовна – кандидат химических наук, младший научный сотрудник, erochina2007@yandex.ru

Information about authors

Dymnikova Natal'ja Sergeevna – PhD, researcher, nsd@isc-ras.ru
Erohina Ekaterina Vjacheslavovna – PhD, researcher, erochina2007@yandex.ru