

ISSN 2782-2915

TECHNICAL CROPS.  
SCIENTIFIC AGRICULTURAL JOURNAL

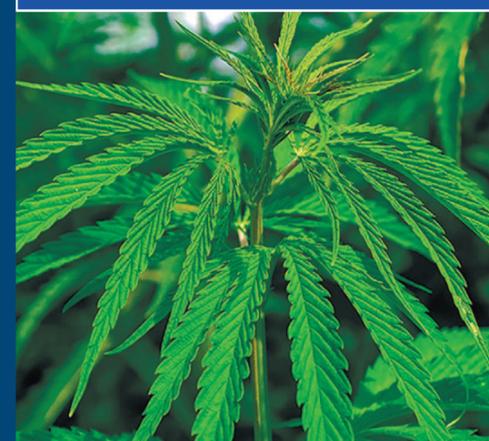


**№3(3)**  
**2023**



**ТЕХНИЧЕСКИЕ  
КУЛЬТУРЫ**

НАУЧНЫЙ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ





# ТЕХНИЧЕСКИЕ КУЛЬТУРЫ

## НАУЧНЫЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

Учредитель Федеральное государственное бюджетное научное учреждение  
«Федеральный научный центр лубяных культур»

НАУЧНЫЙ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЙ  
ЖУРНАЛ

ISSN 2782-2915

Журнал зарегистрирован  
Федеральной службой  
по надзору в сфере связи,  
информационных технологий  
и массовых коммуникаций  
(РОСКОМНАДЗОР)

Свидетельство  
ПИ № ФС77-82351  
от 23 ноября 2021 г.

Журнал включен  
в Российский индекс научного  
цитирования (РИНЦ)

Результаты статей размещены  
на сайте электронной научной  
библиотеки: <https://elibrary.ru>  
Сайт: <https://technicalcrops.ru>

Охраняется законом РФ  
№ 5351-1 «Об авторском праве  
и смежных правах»  
от 9 июля 1993 года

Над номером работали:  
И.А. Флиманкова  
М.В. Алейник  
М.В. Красильникова

Адрес редакции:  
214025, Российская Федерация,  
г. Смоленск, ул. Нахимова, д. 21  
телефоны:  
8(4812)41-61-10 (доб. 112),  
8(4812)65-55-03  
e-mail: [tcpaper@mail.ru](mailto:tcpaper@mail.ru)

© ФГБНУ «Федеральный  
научный центр лубяных культур»

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

**Ростовцев Р.А.**

доктор технических наук, член-корреспондент РАН

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

**Ущатовский И.В.**

кандидат биологических наук, доцент

ЗАМ. ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

**Кольцов Д.Н.**

кандидат сельскохозяйственных наук, доцент

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

**Гаврилова А.Ю.**

кандидат биологических наук

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

**Голуб И.А.**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор,  
академик НАН Беларуси

**Лачуга Ю.Ф.**

доктор технических наук, профессор, академик РАН

**Лобачевский Я.П.**

доктор технических наук, профессор, академик РАН

**Никифоров А.Г.**

доктор технических наук

**Осепчук Д.В.**

доктор сельскохозяйственных наук

**Прахова Т.Я.**

доктор сельскохозяйственных наук

**Ратошный А.Н.**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

**Рожмина Т.А.**

доктор биологических наук

**Романова И.Н.**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

**Самсонова Н.Е.**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

**Серков В.А.**

доктор сельскохозяйственных наук

**Сорокина О.Ю.**

доктор сельскохозяйственных наук, профессор

**Тимошкин О.А.**

доктор сельскохозяйственных наук, доцент

**Черников В.Г.**

доктор технических наук, профессор,  
член-корреспондент РАН

**Шардан С.К.**

доктор экономических наук, доцент



## СОДЕРЖАНИЕ

### СЕЛЕКЦИЯ, СЕМЕНОВОДСТВО И АГРОНОМИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ И СЕВООБОРОТНЫХ КУЛЬТУР

3

**И.Ф. Дёмина**

ЗАВИСИМОСТЬ ПРОДУКТИВНОСТИ ГЕНОТИПОВ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ ОТ ИХ МОРФОЛОГИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ В УСЛОВИЯХ ЛЕСОСТЕПИ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

10

**В.П. Понажев**

ЭФФЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ И ТЕХНОЛОГИИ ПЕРВИЧНОГО СЕМЕНОВОДСТВА НОВЫХ СОРТОВ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА

19

**О.Ю. Сорокина, Н.Н. Кузьменко,  
В.И. Ильина, М.М. Визирская**

ЭФФЕКТИВНОСТЬ НОВЫХ УДОБРЕНИЙ AVRORA И AQUALIS НА МАСЛИЧНОМ ЛЬНЕ В УСЛОВИЯХ ЦЕНТРАЛЬНОГО РАЙОНА НЕЧЕРНОЗЕМНОЙ ЗОНЫ

26

**А.Д. Степин, М.Н. Рысев, Т.А. Рысева,  
С.В. Уткина, Н.В. Романова**

ВЛИЯНИЕ СРОКОВ СЕВА И НОРМ ВЫСЕВА СЕМЯН НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА СОРТА ШАНС В УСЛОВИЯХ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

36

**Е.А. Трабурова, С.М. Зуева, С.М. Чехалков**

ИСПЫТАНИЕ СОРТОНОМЕРОВ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА ПО УРОЖАЙНОСТИ ЛЬНОВОЛОКНА И ПАРАМЕТРАМ АДАПТИВНОСТИ В УСЛОВИЯХ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

42

**Л.К. Чехалкова, Д.В. Козунов**

ВЛИЯНИЕ ПОГОДНЫХ УСЛОВИЙ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ КАРТОФЕЛЯ В УСЛОВИЯХ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

### ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ, ПЕРВИЧНАЯ И ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

49

**И.Э. Миневич, И.В. Ушаповский**

ИЗУЧЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ЛУБЯНЫХ КУЛЬТУР, В КАЧЕСТВЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ИНДУСТРИИ

### АГРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА И ИХ РЕШЕНИЯ

59

**О.В. Татуева**

ВЛИЯНИЕ ВОЗРАСТА ПЕРВОГО ОТЕЛА НА ПРОДУКТИВНОЕ ДОЛГОЛЕТИЕ КОРОВ ЧЕРНО-ПЕСТРОЙ ПОРОДЫ В УСЛОВИЯХ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ

## ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ, ПЕРВИЧНАЯ И ГЛУБОКАЯ ПЕРЕРАБОТКА РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

DOI 10.54016/SVITOK.2023.78.64.007

УДК 676.16:633.52:543.421/.424

### ИЗУЧЕНИЕ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ, ПОЛУЧЕННОЙ ИЗ ВТОРИЧНОГО СЫРЬЯ ЛУБЯНЫХ КУЛЬТУР, В КАЧЕСТВЕ ПОТЕНЦИАЛЬНОГО ИСТОЧНИКА ДЛЯ РАЗЛИЧНЫХ ОТРАСЛЕЙ ИНДУСТРИИ

© 2023. И. Э. Миневич, И. В. Ущাপовский  
ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур»  
г. Тверь, Российская Федерация

*Использование отходов первичной переработки лубяных культур — соломы, костры, лузги, очесов льна и конопли в продукцию с высокой добавочной стоимостью может служить основой для повышения эффективности этой отрасли отечественного АПК. Перспективным направлением является получение целлюлозных продуктов различного назначения. При урожайности льна и конопли на уровне 1,0–1,5 т/га волокна потенциал производства целлюлозы из этих культур в стране составляет 40–50 тыс. тонн, что свидетельствует о целесообразности разработки этого направления переработки вторичного сырья лубяных культур. Цель работы состояла в исследовании целлюлозы из вторичного сырья лубяных культур методом ИК-спектроскопии для оценки эффективности его глубокой переработки. В работе использовали промышленные образцы целлюлозы из волокнистого льняного и конопляного сырья, а также целлюлозные продукты, полученные при обработке конопляной лузги в лабораторных условиях. Методом ИК-спектроскопии было установлено наличие в целлюлозе из льняного и конопляного сырья функциональных групп, соответствующих нативной целлюлозе, в том числе аналогичные и хлопковой целлюлозе. Сравнительный анализ относительных интенсивностей отдельных полос в ИК-спектрах позволил выявить близость структуры льняной и конопляной целлюлозы из волокнистого сырья и более высокую аморфность целлюлозных продуктов из конопляной лузги. Показатели целлюлозы (содержание целевого вещества — кристаллической фракции), количество остаточного лигнина и степень полимеризации варьировали в зависимости от способа обработки сырья. Органосольventная обработка в большей степени влияла на деполимеризацию целлюлозы: целевой продукт имел степень полимеризации (СП) 170, в отличие от показателей после азотнокислого гидролиза — СП 290. Полученные результаты в совокупности с литературными данными служат обоснованием целесообразности производства целлюлозных продуктов из вторичного сырья лубяных культур.*

**Ключевые слова:** лубяные культуры, лен, конопля, конопляная лузга, вторичное сырье, глубокая переработка, целлюлоза, ИК-спектроскопия.

**Благодарности:** работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках Государственного задания ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур» (тема №FGSS-2022-0007).

**Для цитирования:** Миневич И.Э, Ущাপовский И.В. Изучение целлюлозы, полученной из вторичного сырья лубяных культур, в качестве потенциального источника для различных отраслей индустрии. Технические культуры. Научный сельскохозяйственный журнал. 2023; 3(3): (49-58). DOI: 10.54016/SVITOK.2023.78.64.007

Поступила: 15.08.2023 Принята к публикации: 04.09.2023 Опубликована: 29.09.2023

## THE STUDY OF CELLULOSE OBTAINED FROM THE SECONDARY RAW MATERIALS OF BAST CROPS AS A POTENTIAL SOURCE FOR VARIOUS INDUSTRIES

© 2023. I. E. Minevich, I. V. Uschapovsky  
Federal Research Center for Bast Fiber Crops  
Tver, Russian Federation

*The use of wastes of primary processing of bast crops – straw, fire, husks, flax and hemp twigs in products with high added value can serve as a basis for increasing the efficiency of this sector of the domestic agro-industrial complex. The production of cellulosic products for various purposes is a promising direction. The potential of pulp production from oil crops in the country is 40 – 50 thousand tons at the yield of flax and hemp at the level of 1.0 – 1.5 t/ha of fiber, which indicates the expediency of development of this direction of processing of secondary raw materials of bast crops. The aim of the work was to study cellulose produced from secondary raw materials of bast crops with IR spectroscopy method to evaluate the efficiency of its deep processing. Industrial samples of cellulose from fibrous flax and hemp raw materials, as well as cellulose products obtained by processing hemp husk in laboratory conditions were used in this work. The presence of functional groups in cellulose from flax and hemp raw materials corresponding to native cellulose, also similar to cotton cellulose, was determined by IR spectroscopy. A comparative analysis of the relative intensities of the separate bands in the IR spectrum revealed the proximity of the structure of flax and hemp cellulose from fibrous raw materials and the higher amorphous nature of cellulose products from hemp husk. Cellulose parameters (content of target substance, crystalline fraction, amount of remaining lignin and degree of polymerization) varied depending on the method of raw material processing. Organosolv treatment had a more significant effect on cellulose depolymerization: the target product had a degree of polymerization (SP) of 170 compared to the values after nitric acid hydrolysis – SP 290. The results obtained in conjunction with the literature data give a justification for the expediency of production of cellulosic products from secondary raw materials of bast crops.*

**Keywords:** bast crops, flax, hemp, hemp husk, secondary raw materials, deep processing, cellulose, IR spectroscopy.

**Acknowledgments:** the work was supported by the Ministry of Education and Science of the Russian Federation as part of the State assignment of the Federal State Budgetary Research Institution "Federal Research Center for Bast Fiber Crops" (theme No. FGSS-2022-0007).

**For citation:** Minevich I.E., Uschapovsky I.V. The study of cellulose obtained from the secondary raw materials of bast crops as a potential source for various industries. Technical crops. Scientific agricultural journal. 2023; 3(3): (49-58). DOI: 10.54016/SVITOK.2023.78.64.007.

Received: 15.08.2023 Accepted for publication: 04.09.2023 Published: 29.09.2023

**В**ведение. Возделывание и переработка лубяных культур является традиционной отраслью отечественного агропромышленного комплекса. Для повышения эффективности производства льна-долгунца и технической конопли необходимо расширение ассортимента продукции с высокой добавленной стоимостью. Перспективным направлением является глубокая переработка короткого волокна, не используемого в текстильной промышленности, а также вторичного сырья лубяных культур (костры, соломы, лузги) в целлюлозу. Потребности в целлюлозе многих отраслей перерабатывающей промышленности растут с каждым

годом, что связано с постоянно расширяющимся ассортиментом продукции, вырабатываемым из этого сырья.

Основным источником промышленного получения целлюлозы в большинстве стран мира, в том числе и России, является древесина. Целлюлоза из быстро возобновляемых источников, т.е. однолетних растений, составляет не более 12% мирового производства [20]. Из недревесного сырья только хлопок используется для получения целлюлозы в промышленных масштабах.

Наряду с традиционным источником целлюлозы – хлопчатником (с содержанием целлюлозы 95%) практический интерес

представляют и лубяные культуры: лен и конопля, содержащие до 87% и 80% целевого вещества, соответственно [5, 22]. Это быстро возобновляемое растительное сырьё, используемое преимущественно для текстильной промышленности, может стать сырьевой базой для целлюлозных производств.

О целесообразности использования лубяных культур для производства целлюлозных продуктов различного назначения свиде-

тельствуют как высокое содержание целевого вещества в сырье, так и качество самой целлюлозы (табл. 1) [14, 11]. Так, выход целлюлозы из лубяных культур варьирует в интервале 54-72%, а содержание  $\alpha$ -целлюлозы составляет 91,2-97,8%. Следует отметить, что представленные в таблице 1 данные характеризуют целлюлозу только из волокнистой части лубяных культур.

**Таблица 1 – Физико-химические показатели целлюлозы из лубяных культур [14, 11]**

Наименование образца	Показатели сырья и целлюлозы				
	Выход, %	Влажность, %	$\alpha$ -целлюлоза, %	Лигнин, %	Зольность, %
Лен-долгунец – сырье – целлюлоза	72,5	4,8	97,8	8,30 0,20	3,60 0,19
Лен-кудряш – сырье – целлюлоза	54,5	5,4	92,2	15,40 1,30	2,60 0,25
Конопля – сырье – целлюлоза	56,8	4,2	91,2	22,50 8,20	6,07 0,30

Из льняного короткого волокна, не используемого в текстильной промышленности, были получены образцы целлюлозы с высоким содержанием кристаллической  $\alpha$ -целлюлозы (85-98%) [3, 4, 9, 21], которую можно использовать для производства высокотехнологичных материалов (например, кордная нить) или в качестве прекурсора углеродных волокон. Наряду со льном была показана принципиальная возможность получения высококачественной целлюлозы с содержанием  $\alpha$ -целлюлозы 89-91% из волокна технической конопли [5].

Целлюлозы, полученные из соломы или костры лубяных культур, характеризуются более низким выходом и содержанием кристаллической  $\alpha$ -целлюлозы по сравнению с целлюлозой из волокнистой части этого сырья. В целлюлозе из соломы льна-межеумка по данным авторов [4] содержание  $\alpha$ -целлюлозы составило 85,7-87,07%. При этом, средний выход целевого продукта (целлюлозы) составил 25,6%. Расчёты показывают, что при средней урожайности по стране льна и конопли 1,0-1,5 т/га по волокну можно получить 40-50 тыс. тонн целлюлозы [13].

Дополнительным недооцененным источником целлюлозы (не менее 40% целлюлозы) является конопляная лузга, объемы которой растут ежегодно в связи с увеличением

переработки семян конопли для пищевых целей. Исследования, проведенные в ФГБНУ ФНЦ ЛК, показали, что из конопляной лузги можно получать целлюлозный продукт с выходом 31-37% и содержанием целлюлозы 79-90% [7].

Для комплексного изучения природного сырья целесообразно совмещать различные методы исследований. Наряду с традиционными химическими в настоящее время широко используются современные методы спектрального анализа (ЯМР, ИКС, УФ-Вид спектроскопия). Так, метод ИК-спектроскопии НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения), обладая всеми достоинствами и универсальностью традиционной ИК-спектроскопии, позволяет проводить анализ с небольшими массами вещества, изучать материалы в различных агрегатных состояниях и исключить процесс пробоподготовки [12].

Цель работы состояла в исследовании целлюлозы из вторичного сырья лубяных культур методом ИК-спектроскопии НПВО для обоснования целесообразности его глубокой переработки.

**Методика исследований.** В качестве объектов исследования были использованы продукты переработки волокнистой части конопли и льна промышленного производ-

ства: пеньковая целлюлоза из конопли (ПЦ), отбеленная конопляная целлюлоза (ОКЦ), льняная целлюлоза (ЛЦ), а также продукты переработки конопляной лузги, полученные в лабораторных условиях:  $\alpha$ -целлюлоза из конопляной лузги ( $\alpha$ Ц), целлюлозный продукт, полученный азотнокислым гидролизом конопляной лузги (ЦП1), целлюлозный продукт, полученный при органосольвентной обработке конопляной лузги (ЦП2).

Органосольвентную обработку конопляной лузги проводили композицией, содержащей уксусную кислоту (50%-ный раствор), пероксид водорода (33%-ный раствор) в соотношении 3:1 и серную кислоту (конц.) в качестве катализатора. При таком способе обработки не требуется дополнительной стадии отбеливания.

Кислотный гидролиз предварительно измельченного сырья проводили 2,7%-ным раствором  $\text{HNO}_3$  при 90 °С в течение 3 ч и дополнительной делигнификацией (1 ч) при добавлении в реакционную смесь 1,5%-ного раствора  $\text{NaOH}$ .

Альфа-целлюлозу получали из целлюлозного продукта по методике [15].

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, зольности – по ГОСТ 26226-95.

Содержание целлюлозы,  $\alpha$ -целлюлозы, лигнина, средней степени полимеризации определяли в соответствии с методиками, приведенными в источнике [15].

Колебательные спектры образцов (32 скана) получали методом ИК-спектроскопии НПВО (нарушенного полного внутреннего отражения) на Фурье-спектрометре Tensor 37 фирмы Bruker (Германия) с алмазным НПВО-элементом, управляемым программным пакетом OPUS со стандартными градуировочными возможностями, в диапазоне частот 4000-600  $\text{см}^{-1}$  в формате поглощения. Для определения относительной интенсивности полос ИК-спектры были скорректированы по базовой линии. ИК-спектры были получены с помощью д.т.н. Нечипоренко А.П. (НИУ ИТМО, г. Санкт-Петербург).

**Результаты и их обсуждение.** В работе использовали промышленные образцы целлюлозы из волокнистого льняного и конопляного сырья, а также целлюлозные продукты, полученные при обработке конопляной лузги в лабораторных условиях. Характеристика конопляной лузги представлена в таблице 2.

Таблица 2 – Характеристика конопляной лузги

Наименование показателя	Показатель
Сырой протеин, %	11,2±0,6
Сырой жир, %	9,2±0,5
Зольность	4,6±0,2
Влажность, %	6,1±0,4
Содержание целлюлозы, %	40,8±2,0
Содержание лигнина, %	28,7± 1,5
Остаток ядра, %	7,7±0,4

Конопляная лузга отличается высоким содержанием целлюлозы (40,8%) по сравнению с аналогичными видами сырья: рисовой (28%) и овсяной (29%) шелухи, подсолнечной лузги (23%) [18]. Характеристика цел-

люлозных продуктов, полученных из конопляной лузги методом кислотного гидролиза (ЦП1) и органосольвентной обработкой (ЦП2), представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Характеристика целлюлозных продуктов из конопляной лузги

Наименование показателя	Образец	
	ЦП1	ЦП2
Выход, %	30,86	38,41
Содержание целлюлозы, %	84,8	79,8
Содержание α-целлюлозы, %:		
- в целлюлозном продукте	76,12	59,24
- в пересчете на целлюлозу	89,99	71,38
Содержание остаточного лигнина, %	4,3	5,8
Средняя степень полимеризации	290	170
Цвет	Белый	
Запах	Без запаха	

Следует отметить, что способ обработки сырья влияет на качество целлюлозы: образец ЦП2, полученный в условиях органосольвентной обработки, характеризуется меньшим содержанием кристаллической фракции целлюлозы и меньшей степенью полимеризации.

С целью определения перспектив глубокой переработки вторичного сырья лубяных культур, в том числе конопляной лузги, методом ИК-спектроскопии НПВО был проведен сравнительный анализ структурных особенностей целлюлозной компоненты продуктов, полученных из разных анатомических частей этого сырья. На рисунках 1-3 представлены ИК-спектры целлюлозных продуктов, полученных из волокнистой ча-

сти конопли и льна, и оболочки (лузги) семян конопли.

Известно, что многообразие структуры целлюлозы обуславливает наличие широкого диапазона энергетически неравноценных водородных связей, формирующих уровни внутри и межмолекулярной упорядоченности. Так, в структуре целлюлозы I возможно присутствие трех типов водородных связей: 2 внутримолекулярные  $-O_{(2)} - H \dots O'_{(6)'} O'_{(3)'} - H \dots O_5$  и одна межмолекулярная  $O'_{(6)'} - H \dots O''_{(3)}$  (рис. 1), которым соответствуют полосы поглощения при 3430, 3350, 3275  $cm^{-1}$ , соответственно (валентные колебания НО групп, участвующих в межмолекулярных и внутримолекулярных водородных связях) [21, 2].

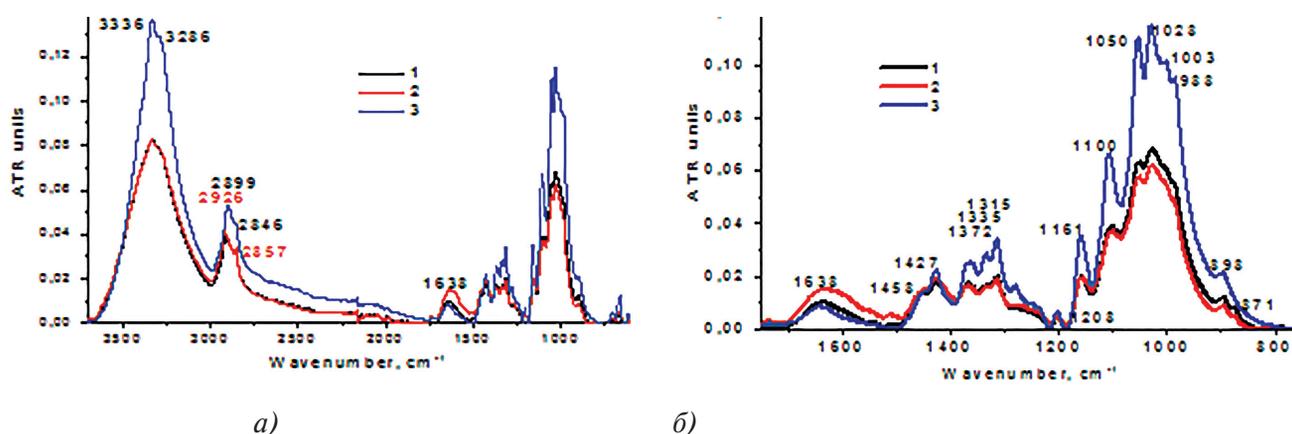
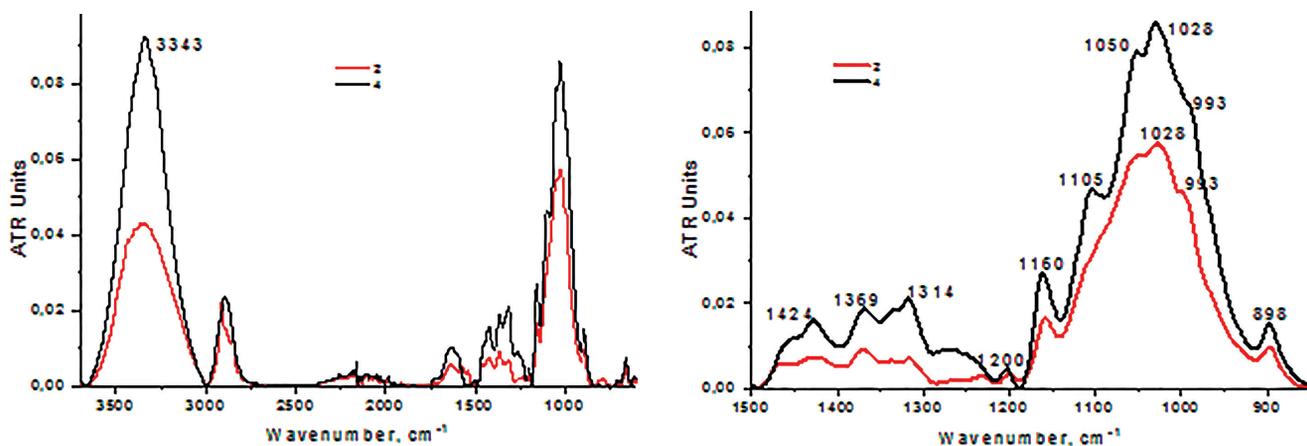


Рисунок 1. ИК-спектры (а) и фрагменты (б) (1500-800  $cm^{-1}$ ) целлюлозы из волокнистого льняного и конопляного сырья: 1 – пеньковая целлюлоза, 2 – отбеленное конопляное волокно, 3 – льняная целлюлоза

Из анализа представленных ИК-спектров следует, что в льняной целлюлозе ярко проявляются внутримолекулярная ( $3350\text{ см}^{-1}$ ) и межмолекулярная связь, выраженная в виде плеча при  $3286\text{ см}^{-1}$  (рис. 1). На ИК-спектрах конопляной целлюлозы в этой области присутствует полоса, соответствующая внутримолекулярным водородным связям. Особенно показательна эта полоса в спектре целлюлозного продукта ЦП2 (рис. 3), полученного органосольвентной обработкой

( $3337\text{ см}^{-1}$  и плечо  $3424\text{ см}^{-1}$ ).

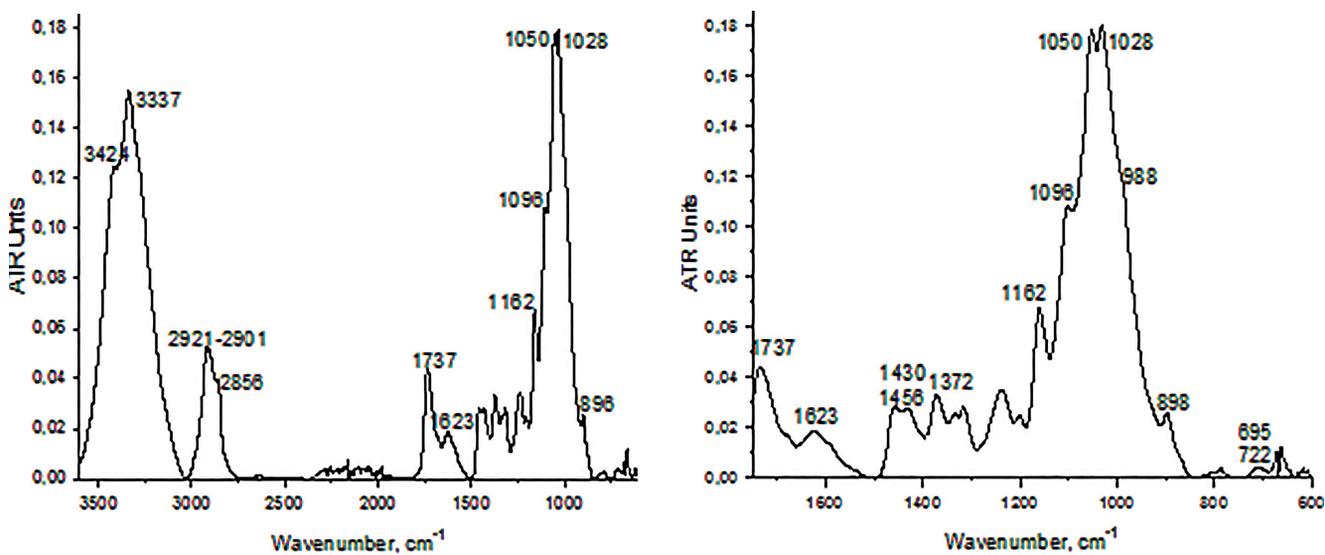
Область  $3000 - 2800\text{ см}^{-1}$  характерна для валентных колебаний С-Н связей в метиленовых и метильных группах целлюлозы. Полосы  $2945, 2853\text{ см}^{-1}$  соответствуют ассиметричным и симметричным валентным колебаниям метиленовых групп. Волокнистые образцы целлюлозы имеют максимумы, смещенные в сторону ассиметричных валентных колебаний, в отличие от образцов целлюлозы из конопляной лозы (рис. 1- 3).



а)

б)

Рисунок 2. ИК-спектры (а) и фрагменты ИК-спектров ( $1500-850\text{ см}^{-1}$ ): 2 -  $\alpha$ -целлюлоза из конопляной лозы; 4 - целлюлозный продукт ЦП1



а)

б)

Рисунок 3. ИК-спектр (а) и фрагмент (б) ИК-спектра ( $1750-600\text{ см}^{-1}$ ) целлюлозного продукта ЦП2

В области 1500 – 1000 см<sup>-1</sup> ИК-спектров рассматриваемых образцов можно отметить близость структур и количества полос, отвечающих структурным элементам и функциональным группировкам шестичленного цикла α- и β-глюкопираноз.

Увеличенные фрагменты диапазона 1750-600 см<sup>-1</sup> позволяют более детально рассмотреть гетерополисахаридный комплекс целлюлозных продуктов. Удаление из лужги протеиновых и липидных компонентов сопровождается заметной структуризацией глобальной углеводной полосы дублетом максимумов 1050/1028 (рис. 2, 3), что указывает на значительные химические изменения в кристаллической структуре гетерополисахаридного комплекса в составе целлюлозы [22]. Более выраженное проявление полос 1162, 1096, 988 см<sup>-1</sup> позволяет говорить о более разнообразном составе структурных и конформационно-таутомерных форм целлобиозы, являющейся структурной единицей целлюлозы любой природы [19]. Целлобиоза – дисахарид, состоящий из двух молекул глюкозы, связанных β-гликозидной связью. В зависимости от условий получения и природы сырья целлобиоза может существовать как в чистых формах – α-D-глюкопиранозы (одна молекула в α, другая в β-форме) и -D-глюкопиранозы (обе молекулы в β-форме), так и в виде их смесей. На наличие β-пиранозных форм глюкозы в спектре целлюлозы указывают полосы разной степени проявленности на левой и правой ветвях глобального максимума. Поскольку полоса 1028 см<sup>-1</sup> является общей для обеих форм глюкозы, следует полагать, что в появлении полосы 1050 проявляются колебания пиранозного кольца ее β-формы, о чем говорят и ее полосы 988 и 898 см<sup>-1</sup>. Однако на присутствие α-глюкопиранозы, в спектрах исследуемых продуктов однозначно указывает достаточно выраженная полоса валентных колебаний ее ОН-групп – 1372 см<sup>-1</sup> [16].

Таким образом, ИК спектры исследуемых образцов из льняного и конопляного сырья имеют основные характеристические частоты, соответствующие целлюлозе, в том числе аналогичные и хлопковой целлюлозе, исследование которой проведено в работе [6]. Полученные результаты также коррелируют с данными авторов [8], которые методами ИК-спектроскопии НПВО и рентгенострук-

турного анализа показали, что пеньковая (конопляная) целлюлоза по своим структурным свойствам близка хлопковой целлюлозе.

Что касается нецеллюлозных компонентов, прежде всего лигнина, то полосы в области скелетных колебаний ароматического кольца (1600, 1510, 1430 см<sup>-1</sup> [17, 1]) явно проявляются в ИК-спектрах целлюлозных продуктов из конопляной лужги (рис. 2, 3). В ИК-спектре ЦП2 хорошо видна полоса 1737 см<sup>-1</sup>, характерная колебаниям С=О групп в макромолекуле лигнина [1]. Изменение интенсивности этой полосы было отмечено и в работе [10] при получении льняной целлюлозы. Содержание остаточного лигнина в продуктах также было определено химическими методами и составило в ЦП1 – 4,3%, в ЦП2 – 5,8%.

Следует отметить аналогичность полос ИК-спектров целлюлозы из конопляной лужги, полученных в данном исследовании и представленных авторами целлюлозы из биомассы конопли (соломы) [22].

Кристалличность, т.е. массовая доля кристаллитов в природной целлюлозе является важной характеристикой надмолекулярной структуры полимера, определяющей его свойства. Возможность оценки степени упорядоченности полимерных цепей целлюлозы была обоснована Нельсоном и О'Конором [2]. В качестве внутреннего стандарта была предложена полоса, связанная с валентными колебаниями С-Н (2900 см<sup>-1</sup>), которая слабо зависит от степени кристалличности целлюлозы.

Полоса в области 900 см<sup>-1</sup> характеризует ассиметричное колебание кольца в противофазе и колебание атома С1 и четырех окружающих его атомов в спектрах β-гликозидных структур [1, 23]. При механической и химической обработке целлюлозы происходит усиление интенсивности данной полосы, поэтому ее называют полосой аморфности [10]. Увеличение интенсивности этой полосы свидетельствует о повышении содержания аморфной фракции целлюлозы. В связи с этим оценивают относительную интенсивность полосы 900 см<sup>-1</sup> как характеристику аморфной фазы. Полоса 1430 см<sup>-1</sup> указывает в основном на деформационные колебания группы -ОН и отражает латеральную (боковую) упорядоченность макромолекул целлюлозы. В таблице 5 приведены относи-

тельные интенсивности отдельных полос, чувствительных к упорядоченности цепей целлюлозы к полосе 2900 см<sup>-1</sup>, используемой в качестве внутреннего стандарта.

**Таблица 5 – Оценка относительных интенсивностей отдельных полос в ИК-спектрах целлюлозы из льняного и конопляного сырья**

Относительные интенсивности	Образцы целлюлозы					
	ПЦ	ОКЦ	ЛЦ	αЦ	ЦП1	ЦП2
$I_{1375} / I_{2900}$	0,48	0,42	0,49	0,57	0,82	0,65
$I_{1430} / I_{2900}$	0,47	0,49	0,45	0,46	0,70	0,59
$I_{898} / I_{2900}$	0,33	0,22	0,42	0,63	0,66	0,52

Следует отметить близость структуры льняной и конопляной целлюлозы из волокнистого сырья (ПЦ, ОКЦ и ЛЦ). Относительная интенсивность полос 1375/2900 указывает на более выраженную структурную упорядоченность (как внутрицепную, так и межцепную) в образце ЦП1, полученном путем азотнокислого гидролиза с последующей щелочной обработкой по сравнению с образцом ЦП2. При этом данные по относительной интенсивности полос 1430/2900 коррелируют с данными по содержанию кристаллической фракции в виде α-целлюлозы в образцах ЦП1 и ЦП2: 76,12% и 59,24%, соответственно.

**Выводы.** Сравнительный анализ структуры целлюлозы из вторичного сырья лубяных культур, проведенный с использованием метода ИК-спектроскопии, выявил значительную его ценность как источника для производства высококачественной целлюлозы. ИК-спектры исследуемых образцов из льняного и конопляного сырья имеют основные характеристические частоты, свидетельствующие о наличии функциональных групп, соответствующих целлюлозе, в том числе аналогичные и хлопковой целлюлозе.

Спектроскопически и методами химического анализа установлено наличие остаточного лигнина в целлюлозных продуктах, полученных из конопляной лужги.

Показано, что показатели целлюлозы, а именно содержание целевого вещества, кристаллической фракции, остаточного лигнина, степени полимеризации варьировали в зависимости от способа обработки сырья. Органосольвентная обработка в большей степени влияла на деполимеризацию целлюлозы: целевой продукт имел степень полимеризации (СП) 170 в отличие от целлюлозного продукта после азотнокислого гидролиза с СП – 290.

Сравнительный анализ относительных интенсивностей отдельных полос в ИК-спектрах позволил выявить близость структуры льняной и конопляной целлюлозы из волокнистого сырья (ПЦ, ОКЦ и ЛЦ) и более высокую аморфность целлюлозных продуктов из конопляной лужги.

Полученные результаты в совокупности с литературными данными служат обоснованием целесообразности производства целлюлозных продуктов из вторичного сырья лубяных культур.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базарнова Н.Г., Карпова Е.В., Катраков И.Б. и др. Методы исследования древесины и её производных: учебное пособие. – Барнаул: Изд-во Алт. гос. ун-та, 2002. – 160 с.
2. Байклз Н., Сегал Л. Целлюлоза и ее производные (том 1) / Под редакцией З.А. Роговина. – М.: Мир, 1974. – 499 с.
3. Бочек А.М., Шевчук И.Л., Лаврентьев В.Н. Получение микрокристаллической и порошкообразной целлюлозы из коротких волокон и стеблей льна // Журнал прикладной химии. – 2003. – Т. 76. – №10. – С. 1725-1728.
4. Будаева В.В., Гисматулина Ю.А., Зо-

- лотухин В.Н., Роговой М.С., Мельников А.В. Физико-химические свойства целлюлозы из соломы льна – межеумка // Ползуновский Вестник. – 2013. – №3. – С. 168-173.
5. Валишина З.Т., Александров А.А., Матухин Е.Л., Храмова Е.В., Косточко А.В. Целлюлоза на основе альтернативных источников отечественного сырья: целлюлоза из пенькового волокна // Вестник технологического университета. – 2015. – Т. 18. – Вып. 2. – С. 259-262.
6. Гисматулина Ю.А., Будаева В.В. Сравнение целлюлоз, выделенных из мискантуса, с хлопковой целлюлозой методом ИК-Фурье спектроскопии // Ползуновский Вестник. – 2014. – №3. – С. 177-181.
7. Зайцева Л.А., Волкова В.В., Миневич И.Э. Получение целлюлозного продукта из конопляной лужги // Ползуновский вестник. – 2023. – № 2. – С. 174-183. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2023.02.023
8. Косточко А.В., Валишина З.Т., Дебердеев Р.Я. Особенности структуры и свойств нитратов пеньковой целлюлозы // Пластические массы. – 2019. – № 9-10. – С. 41-44.
9. Косточко А.В., Шипина О.Т., Валишина З.Т., Гараева М.Р., Александров А.А. Получение и исследование свойств целлюлозы из травянистых растений // Вестник Казанского технологического университета. – 2014. – 17. (21). – С. 29-31.
10. Левданский В.А., Левданский А.В., Кузнецов Б.Н. Способ получения из льна целлюлозного продукта с высоким содержанием альфа-целлюлозы // Journal of Siberian Federal University. Chemistry. – 2014. – Т. 1. – С. 63–70.
11. Макаров И.С., Голова Л.К., Виноградов М.И., Егоров Ю.А., Куличихин В.Г., Михайлов Ю.М. Новое гидратцеллюлозное волокно из льняной целлюлозы // Рос. хим. ж. (Ж. Рос. хим. об-ва им. Д.И. Менделеева). – 2020. – Т. LXIV. – №1. С. 13-21. DOI: 10.6060/rcj.2020641.2
12. Нечипоренко А.П., Орехова С.М., Плотникова Л.В., Глазачева Е.Н., Волкова К.В., Успенская М.В. Специализированный практикум по физико-химическим методам анализа. Часть II. Учебно-методическое пособие. – СПб.: Университет ИТМО, 2016. – 181 с.
13. Нугманов О., Лебедев Н., Ярулин Р. Травяная целлюлоза в российских регионах // The chemical journal. – 2012. – N 9. – P. 30-32.
14. Нугманов О.К., Григорьева Н.П., Лебедев Н.А. Способы и технология получения травяной целлюлозы // Эфиры целлюлоза и крахмала. Опыт и особенности применения на предприятиях нефтегазового комплекса: материалы XIII Междун. науч.-практич. конф. – Владимир, 2009. – С.79-83.
15. Оболенская А.В., Ельницкая З.П., Леонович А.А. Лабораторные работы по химии древесины и целлюлозы. – М., 1991. – 320 с.
16. Оптические свойства медов: методы ИК-Фурье спектроскопии и рефрактометрии / А.П. Нечипоренко, О.С. Везо, У.Ю. Нечипоренко, Л.В. Плотникова и др. // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. – 2021. – Т. 11 - № 4. – С. 627-641. DOI: 10.21285/2227-2925-2021-11-4-627-641
17. Сарканен К.В., Людвиг К.Х. Лигнины / Под редакцией В.М. Никитина. – М.: «Лесная промышленность», 1975. – 630 с.
18. Синецын А.П., Синецына О.А. Биоконверсия возобновляемой растительной биомассы на примере биотоплива второго поколения: сырье, предобработка, ферменты, процессы, экономика // Успехи биологической химии. – 2021. – Т. 61. – С. 347-414.
19. Тюкавкина Н.А., Бауков Ю.И. Биоорганическая химия: учебник для вузов – 4-е изд., стереотип. – М.: Дрофа, 2005. – 542 с.
20. Хохлов А.В. Экономико-географический аспект развития производства целлюлозы и его сырьевой базы // Вестн. Моск. Ун-та. Сер. 5. География. – 2008. – №2. – С. 18-22.
21. Шипина О.Т., Гараева М.Р., Александров А.А. ИК-спектроскопические исследования целлюлозы из травянистых растений // Вестник Казанского технологического университета. – 2009. – №6. – С. 148-152.
22. Abraham R.E., Wong C.S., Puri M. Enrichment of cellulosic waste hemp (*Cannabis sativa*) hurd into Non-toxic microfibrils // Materials. – 2016. – No. 9. – P. 562. DOI: 10.3390/ma9070562
23. Cichosz S., Masek A. IR Study on Cellulose with the Varied Moisture Contents: Insight into the Supramolecular Structure // Materials. – 2020. – 13(20). – P. 4573. DOI: 10.3390/ma13204573

24. Wiener, Jakub & Kovacic, Vladimir & Dejlová, Petra. Differences between flax and hemp // Autex Research Journal. – 2003. – Vol. 3. – No. 2. – P. 58-63.

### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Миневич Ирина Эдуардовна**, доктор техн. наук, главный научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», 17/56, Комсомольский проспект, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, ORCID <https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>, e-mail: [i.minevich@fncl.k.ru](mailto:i.minevich@fncl.k.ru)

**Ущাপовский Игорь Валентинович**, кандидат биол. наук, заместитель директора по научной работе, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Федеральный научный центр лубяных культур», 17/56, Комсомольский проспект, г. Тверь, Российская Федерация, 170041, e-mail: [i.uschapovsky@fncl.k.ru](mailto:i.uschapovsky@fncl.k.ru)

**Irina E. Minevich**, DSc in Technical Science, chief researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 17/56, Komsomolsky pr., Tver, Russian Federation, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8558-4257>, e-mail: [i.minevich@fncl.k.ru](mailto:i.minevich@fncl.k.ru)

**Igor V. Uschapovsky**, PhD in Biological Sciences, deputy director for research, leading researcher, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, 17/56, Komsomolsky pr., Tver, Russian Federation, e-mail: [i.uschapovsky@fncl.k.ru](mailto:i.uschapovsky@fncl.k.ru)

## СОРТА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КУЛЬТУР СЕЛЕКЦИИ ФГБНУ ФНЦ ЛК



### Лен-долгунец сорт УНИВЕРСАЛ

Высокопродуктивный сорт. Среднеспелый (78–83 дня), голубоцветковый. Высота растения – 86 см. Урожайность волокна – 27,6 ц/га, льносемян – 7,3 ц/га. Содержание волокна в стеблях – 25,8%, выход длинного волокна – 22,6%. Высокоустойчив к ржавчине, фузариозному увяданию и полеганию.



### Конопля посевная сорт ЛЮДМИЛА

Высокопродуктивный сорт. Двустороннего (преимущественно зеленцового) направления использования. Период вегетации – 118–125 дней. Высота растений варьирует от 220 до 270 см (высокорослые), техническая длина стебля – от 177 до 215 см. Характеризуется высокой урожайностью стеблей (12,3 т/га) и семян (1,05 т/га). Содержание масла в семенах достигает 30,0%. Содержание волокна в стеблях – более 30%, выход длинного волокна – более 21%. Сорт слабо поражается болезнями и вредителями.



### Пшеница яровая сорт АРХАТ

Высокопродуктивный сорт. Среднеспелый. Вегетационный период – 90 дней. Высота растения – 88,5 см. Устойчивость к полеганию – высокая. Обладает высокой устойчивостью к поражению растений бурой ржавчиной и мучнистой росой. Хлебопекарные качества зерна на уровне ценной пшеницы.



### Горчица белая сорт ЛЮЦИЯ

Высокопродуктивный сорт. Раннеспелый. Вегетационный период – 90–95 дней. Высота растений – до 1,12 м. Урожайность семян – 11–13,5 ц/га, зеленой массы – 250 ц/га. Масличность – 20,5–20,7%. Устойчив к засухе, осыпанию и полеганию. Слабо поражается крестоцветными блошками и не поражается болезнями.



### Мак масличный сорт ЖЕМЧУГ

Сорт предназначен для использования на масло и семена в пищевой и кондитерской промышленности. Это первый сорт с белой окраской семян. Средняя урожайность семян – 1,51 т/га. Содержание жира – 49,41%. Вегетационный период составляет 99 дней. Отличается более низким содержанием наркотически активных алкалоидов в растении, в среднем 0,228%.



### Клевер луговой сорт ПОЧИНКОВЕЦ

Двуукосный диплоидный сорт. Раннеспелый. Вегетационный период – 90–95 дней. Высота растений – 54–85 см. Урожай зелёной массы – до 640 ц/га, урожайность семян – 2,5–3,3 ц/га, содержание сырого протеина – 17,2%, клетчатки – 22,6. Устойчив к фузариозу. Обеспечивает 2 полноценных укоса на зеленую массу.

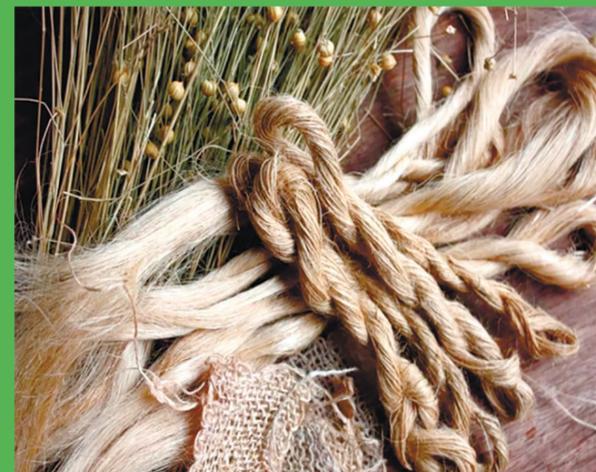
Адрес: 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56  
Телефон: 8 (4822) 41-61-10  
E-mail: info@fncl.ru

## СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ ТЕХНИКА И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЛЬНА



### Машина сушильная для льнотресты МС-1

Предназначена для сушки льняной тресты перед мяльно-трепальными агрегатами всех марок. Отличается наличием воздушного теплогенератора, что исключает необходимость применения паровой котельной. Потребляет в 2 раза меньше тепловой энергии, чем существующие машины марки СКП, в 2 раза меньше занимаемая площадь. Производительность – до 800 кг/ч.



### Мялка лабораторная МЛ-5

Предназначена для промина льняной тресты и соломы льна-долгунца и льна масличного с целью подготовки их к определению содержания волокна, луба и прочности. Производительность – до 15 проб/час. Установленная мощность – 0,5 кВт. Масса – 150 кг.

Адрес: 170041, Россия, г. Тверь, Комсомольский проспект, 17/56  
Телефон: 8 (4822) 41-61-10  
E-mail: info@fncl.ru